

AMBIENTE E SOCIEDADE

CONFLITOS, GOVERNANÇA E SUSTENTABILIDADE



HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR

AMBIENTE E SOCIEDADE

CONFLITOS, GOVERNANÇA E SUSTENTABILIDADE



HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR

2026 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Ambiente e sociedade: conflitos, governança e sustentabilidade está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

A492

Ambiente e sociedade: conflitos, governança e sustentabilidade / Organização de Higor Costa de Brito. – Campina Grande/PB: Ampla, 2026.

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-354-0

DOI 10.51859/ampla.asc6140-0

1. Sustentabilidade. 2. Governança ambiental. 3. Meio ambiente. I. Brito, Higor Costa de (Organizador). II. Título.

CDD 363.7

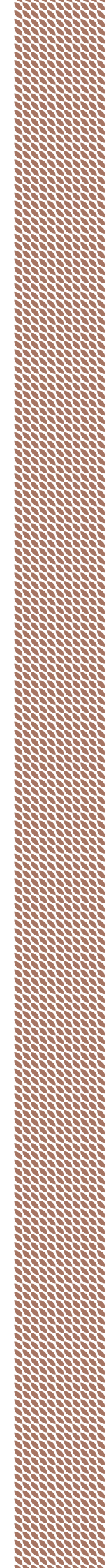
Índice para catálogo sistemático

I. Sustentabilidade

CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodrê dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Marina Magalhães de Morais – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autónoma do Estado do México
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carlotto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



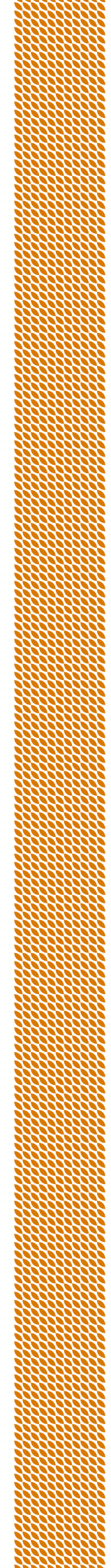
Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

PREFÁCIO

O livro *Ambiente e sociedade: conflitos, governança e sustentabilidade* reúne estudos que tratam das relações entre processos ambientais, dinâmicas territoriais, sistemas produtivos, práticas educativas, tecnologias aplicadas e formas de gestão institucional. A diversidade temática da obra expressa a própria complexidade dos problemas ambientais contemporâneos, que não podem ser compreendidos apenas por seus efeitos biofísicos imediatos. Questões como fiscalização ambiental, transição energética, segurança hídrica, mudanças no uso e cobertura da terra, conservação da biodiversidade, resíduos industriais, produção agropecuária e educação ambiental envolvem decisões técnicas, interesses econômicos, capacidades institucionais e diferentes formas de apropriação do território.

Os capítulos iniciais evidenciam a importância da governança e da ação institucional para a materialização de agendas ambientais. A fiscalização ambiental municipal, discutida em diálogo com os compromissos da COP 30, revela que metas globais dependem de capacidades locais de monitoramento, controle e implementação normativa. A análise da energia fotovoltaica em instituições de ensino superior, por sua vez, demonstra que a sustentabilidade também se constitui no interior das organizações, articulando viabilidade econômica, gestão de infraestrutura, redução de impactos e formação de práticas institucionais coerentes com a transição energética. Em outra escala, o estudo sobre cisternas no semiárido piauiense reforça que a segurança hídrica não depende apenas da disponibilidade natural de água, mas da distribuição territorial de tecnologias sociais, políticas públicas e condições sociopolíticas que estruturam o acesso aos recursos.

A dimensão territorial aparece nos capítulos que analisam veredas, agricultura, áreas de vida de dispersores de sementes, mineração e regeneração da vegetação savânica. Esses estudos mostram que as mudanças no uso e cobertura da terra interferem em funções ecológicas, processos hidrológicos, conectividade ambiental e capacidade de regeneração dos ecossistemas. O uso de análises espaciais e geotecnologias permite identificar padrões de pressão, sobreposição e transformação territorial, oferecendo subsídios para o planejamento ambiental e para a avaliação de



impactos. A obra também amplia essa discussão ao abordar microplásticos na indústria de cosméticos, fósforo na nutrição de peixes e sistemas produtivos agrícolas, demonstrando que a sustentabilidade depende de escolhas realizadas ao longo das cadeias de produção, consumo, manejo e descarte.

Os capítulos voltados à arborização, horta escolar, metodologias ativas no ensino de química, biometria de sementes, viabilidade polínica, superação de dormência, bioestimulantes vegetais e gerenciamento térmico de baterias ampliam o escopo da coletânea para práticas educativas, biologia aplicada, agricultura tropical e inovação energética. Em conjunto, esses estudos indicam que a sustentabilidade não se restringe à conservação de recursos naturais, mas envolve formação científica, experimentação pedagógica, conhecimento sobre espécies, eficiência produtiva e desenvolvimento tecnológico. Assim, esta obra contribui para uma leitura interdisciplinar dos desafios ambientais, reunindo pesquisas que articulam diagnóstico, aplicação e reflexão sobre os modos pelos quais sociedade, território e natureza se relacionam em contextos marcados por transformação ambiental e necessidade de governança.

Boa leitura!

Higor Brito

Engenheiro Civil

Doutor em Engenharia Civil e Ambiental

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO I. O PAPEL DA FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL FRENTE AOS COMPROMISSOS DA COP 30: DESAFIOS E OPORTUNIDADES..... | 10 |
| CAPÍTULO II. INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR COMO ESPAÇOS DE SUSTENTABILIDADE: VIABILIDADE SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFTM | 26 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISE DAS CISTERNAS ATIVAS NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: DINÂMICA GEOESPACIAL ENTRE RECURSOS NATURAIS E ASPECTOS SOCIOPOLÍTICOS | 42 |
| CAPÍTULO IV. ÁREAS DE INTERSEÇÃO ENTRE VEREDAS E AGRICULTURA NO NOROESTE DE MINAS GERAIS: UMA ANÁLISE ESPACIAL MULTITEMPORAL ENTRE 1985, 2005 E 2023..... | 74 |
| CAPÍTULO V. ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS DE VIDA DE DISPERSORES DE SEMENTES NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE (1985–2023) | 85 |
| CAPÍTULO VI. MINERAÇÃO E GEOTECNOLOGIAS: IMPACTOS E REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO SAVÂNICA..... | 98 |
| CAPÍTULO VII. MICROPLÁSTICOS NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS | 107 |
| CAPÍTULO VIII. FÓSFORO NA NUTRIÇÃO DE PEIXES: EQUILÍBRIO ENTRE DESEMPENHO PRODUTIVO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL | 122 |
| CAPÍTULO IX. ARBORIZAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO NO SEMIÁRIDO..... | 146 |
| CAPÍTULO X. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A PRÁTICA DA HORTA ESCOLAR | 152 |
| CAPÍTULO XI. METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UMA ABORDAGEM DINÂMICA E LÚDICA PARA ESTUDANTE E FUTUROS EDUCADORES..... | 163 |
| CAPÍTULO XII. BIOMETRIA DE FRUTOS E SEMENTES DE LIBIDIBIA FERREA (MART. EX TUL.) L.P. QUEIROZ PROVENIENTES DE DIFERENTES MATRIZES | 174 |
| CAPÍTULO XIII. SEMENTES SENNA SPECTABILIS VAR. EXCELSA SUBMETIDAS À DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA E POSTERIORMENTE A UM CICLO DE HIDRATAÇÃO - DESIDRATAÇÃO | 190 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO XIV. EFICIÊNCIA DE CORANTES SINTÉTICOS E NATURAIS NA VISUALIZAÇÃO DA VIABILIDADE POLÍNICA EM MAMOEIRO (<i>CARICA PAPAYA L.</i>) | 204 |
| CAPÍTULO XV. DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE POLÍNICA DE MARACUJÁ UTILIZANDO DIFERENTES CORANTES..... | 213 |
| CAPÍTULO XVI. USO E APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALGAS COMO BIOESTIMULANTES DE PLANTAS NA AGRICULTURA TROPICAL..... | 222 |
| CAPÍTULO XVII. APLICAÇÃO DE ANÁLISE ENERGÉTICA EM UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO TÉRMICO DE BATERIAS DE ÍON LÍTIO EM UM VEÍCULO HÍBRIDO..... | 235 |

O PAPEL DA FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL FRENTE AOS COMPROMISSOS DA COP 30: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

THE ROLE OF MUNICIPAL ENVIRONMENTAL ENFORCEMENT IN RELATION TO THE COP 30 COMMITMENTS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

DOI: 10.51859/amplla.asc6140-1

Rachel Figueiredo Viana Martins¹

¹ Mestra em Avaliação de políticas Públicas. Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO

A 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 30), que ocorrerá em Belém do Pará, em 2025, representa um marco histórico para o Brasil e para o debate global sobre a crise climática. Inserida no bioma amazônico, reforça o protagonismo nacional na promoção da sustentabilidade, da justiça climática e da proteção ambiental. O estudo analisa o papel da fiscalização ambiental municipal como instrumento essencial de governança climática e de cumprimento das metas da COP 30. Fundamentada na Constituição Federal, na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), na Lei Complementar nº 140/2011 e na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), a fiscalização exerce o poder de polícia ambiental, atuando na prevenção e repressão de infrações e na promoção da sustentabilidade urbana. Apesar da relevância, persistem desafios estruturais, como falta de recursos, capacitação e integração entre esferas federativas. A COP 30, contudo, abre oportunidades de financiamento climático internacional, que podem fortalecer a estrutura e a capacidade dos municípios. Conclui-se que a valorização da fiscalização local é condição indispensável para uma transição ecológica justa e para a efetividade das políticas de mitigação e adaptação climática.

Palavras-chave: fiscalização ambiental municipal; COP 30; mudanças climáticas; sustentabilidade urbana; poder de polícia ambiental.

ABSTRACT

The 30th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP 30), to be held in Belém, Pará, in 2025, represents a historic milestone for Brazil and for the global debate on the climate crisis. Situated within the Amazon biome, it reinforces Brazil's leading role in promoting sustainability, climate justice, and environmental protection. This study analyzes the role of municipal environmental enforcement as an essential instrument of climate governance and the achievement of COP 30 goals. Based on the Federal Constitution, the National Environmental Policy Law (Law No. 6,938/1981), Complementary Law No. 140/2011, and the Environmental Crimes Law (Law No. 9,605/1998), enforcement exercises environmental police power, acting in the prevention and repression of infractions and in the promotion of urban sustainability. Despite its relevance, structural challenges persist, such as lack of resources, training, and integration between federative spheres. COP 30, however, opens opportunities for international climate finance, which can strengthen the structure and capacity of municipalities. It is concluded that valuing local oversight is an indispensable condition for a just ecological transition and for the effectiveness of climate mitigation and adaptation policies.

Keywords: Municipal environmental oversight; COP 30; climate change; urban sustainability; environmental police powers.

1. INTRODUÇÃO

A 30ª Conferência da ONU sobre mudanças Climáticas (COP 30) ou a Conferência das Partes é um encontro mundial, na qual líderes signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), organizações não governamentais e representantes da sociedade civil realizam discussões acerca de ações para combater as transformações do clima.

A realização da COP 30, pela primeira vez, em território brasileiro, conforme a página eletrônica do governo federal:

A COP30 representa uma oportunidade histórica para o Brasil reafirmar seu papel de liderança nas negociações sobre mudanças climáticas e sustentabilidade global. O evento permitirá ao país demonstrar seus esforços em áreas como energias renováveis, biocombustíveis e agricultura de baixo carbono, além de reforçar sua atuação histórica em processos multilaterais, como na Eco-92 e na Rio+20.

Trata-se, portanto, de uma oportunidade de consolidar o papel do Brasil nas discussões ambientais em âmbito internacional, debater e se aprofundar mundialmente sobre a crise climática e a necessidade de preservação/conservação dos bens naturais e dos investimentos realizados neste campo, buscando alternativas sustentáveis e a garantia da justiça climática.

A cidade de Belém, no Estado do Pará foi a escolhida para essa grandiosa conferência. A importância da escolha dessa capital brasileira está na sua localização dentro do bioma amazônico, o qual abriga a Amazônia, mais conhecida como a maior floresta equatorial do mundo, que representa um símbolo importante no debate climático e um papel significativo na questão da estabilidade ambiental. Por esse motivo, a COP 30 será extremamente expressiva na pauta climática e do meio ambiente.

Dentro desse contexto de discussão do meio ambiente e das mudanças climáticas da COP 30, está inserida uma categoria extremamente importante que desempenha um papel crucial na proteção do meio ambiente e na promoção do desenvolvimento sustentável no âmbito dos municípios.

A fiscalização ambiental nos municípios exerce o poder de polícia administrativa, garantindo o cumprimento das normas ambientais estabelecidas pela legislação federal, estadual e municipal, atuando de forma preventiva, corretiva e educativa.

Esse corpo técnico de servidores realiza, diariamente, a fiscalização da ordenação territorial, parcelamento, uso e ocupação do solo, zoneamento urbano-ambiental, do

licenciamento e monitoramento de atividades locais, da prevenção e repressão de infrações ambientais, educação e conscientização ambiental, do recolhimento, transporte e destinação final dos resíduos sólidos residencial, industrial e hospitalar, da proteção de áreas verdes e biodiversidade, entre outros.

Dessa maneira, a pesquisa foi dividida em quatro capítulos que se encontram dispostos de modo a oportunizar um estudo organizado sobre como acontece todo o trabalho da fiscalização frente aos compromissos da COP 30, bem como seus desafios e oportunidades dentro dos municípios brasileiros, a partir do olhar de uma fiscal que atua com o meio ambiente, servidora pública de carreira e que se localiza nesse dia a dia de trabalho.

O primeiro capítulo realiza uma abordagem sobre a fiscalização ambiental municipal, mostrando todo o amparo legal do trabalho desta categoria desde a Constituição Federal de 1988, bem como a atuação dessa categoria profissional e o poder de polícia ambiental.

O segundo capítulo destaca a realização da 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, com a apresentação dos principais temas discutidos na conferência e como esses compromissos podem refletir na atuação dos municípios.

O terceiro capítulo retrata as oportunidades de financiamento internacional que a conferência da COP 30 pode inserir nos municípios, apresentando os tipos de financiamento internacional, bem como o reflexo disso no trabalho da fiscalização municipal ambiental.

O quarto capítulo apresenta, de forma detalhada, os principais desafios e limitações que os municípios brasileiros enfrentam no tocante à implementação e à efetiva aplicabilidade das metas estabelecidas pelas Conferências das Partes (COPs).

Este breve estudo tem como foco a fiscalização ambiental no âmbito municipal, inserida no contexto da 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP30). Seu principal objetivo é analisar de que forma as ações fiscalizatórias promovidas pelos municípios podem contribuir de maneira concreta e efetiva para o cumprimento das metas climáticas discutidas e pactuadas durante a COP30.

Considerando que os municípios são os entes federativos mais próximos da população e das realidades territoriais, compreende-se que possuem um papel estratégico e insubstituível na implementação de políticas ambientais e na mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Assim, a pesquisa busca evidenciar a importância da fiscalização ambiental local como instrumento de governança climática, destacando suas potencialidades,

desafios e limitações diante das exigências impostas pelo cenário atual de emergência climática.

Além disso, este estudo pretende refletir sobre o alinhamento entre as diretrizes internacionais estabelecidas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas e as práticas locais de fiscalização, investigando em que medida os municípios brasileiros, por meio de seus órgãos ambientais, têm desenvolvido ações integradas, planejadas e orientadas para a sustentabilidade e a transição ecológica justa.

2. A FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL

No Brasil, a Constituição Federal de 1988, no seu artigo 225, reconhece o meio ambiente como um bem coletivo, essencial para a vida humana, e impõe obrigações tanto ao Poder Público quanto à sociedade para garantir sua proteção e uso sustentável. O parágrafo primeiro do artigo 225, apresenta diversas medidas que o Poder Público pode tomar afim de assegurar a efetividade desse direito, como por exemplo, o controle da poluição e as atividades degradadoras, a proteção da fauna e flora, proibindo práticas cruéis com animais, a exigência de estudos de impacto ambiental para obras e atividades potencialmente lesivas, entre outros.

Já o artigo 23, da Constituição Federal de 1988, atribuiu como competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a conservação do patrimônio público, a proteção dos documentos, as obras e outros bens de valor histórico, artístico e cultural, os monumentos, as paisagens naturais notáveis e os sítios arqueológicos, a proteção do meio ambiente e o combate da poluição em qualquer de suas formas e a preservação das florestas, a fauna e a flora.

Continuando sobre a competência constitucional dos municípios aduz Rachel Figueiredo Viana Martins (2018, p.1): “Há também o artigo 30 da Magna Carta, acrescentando que os Municípios têm competência para legislar acerca dos assuntos de interesse local, estando incluídos aí, assuntos ambientais presente nos Municípios”.

Regulamentando o artigo 23 da Constituição Federal de 1988, a Lei Complementar nº 140/2011, trouxe que são ações administrativa dos Municípios exercer o controle e fiscalização das atividades e empreendimentos cuja atribuição para licenciar ou autorizar, ambientalmente, for cometida ao Município (artigo 9, XII).

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 1981) incluiu dentro do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA os órgãos ou entidades municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades de proteção e melhoria da qualidade ambiental, nas suas respectivas jurisdições, conforme artigo 6º, inciso VI da lei, bem como a elaboração de normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que forem estabelecidos pelo CONAMA, conforme § 2º do artigo 6º da lei.

A Lei nº 9.605/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, apresenta vários artigos relacionados a atividade de fiscalização do meio ambiente, bem como a determinação de punições para àqueles que cometem atos poluidores.

Assim, todo esse arcabouço de legislações federais faz menção sobre a existência da competência dos Municípios para fiscalizar o meio ambiente com a atribuição do poder de polícia administrativa, tendo a finalidade de verificar o cumprimento de todos esses preceitos e, quando a situação assim determinar, tomar as medidas administrativas cabíveis.

A Fiscalização Ambiental Municipal representa um dos principais mecanismos de controle e proteção ambiental das cidades. Com o crescimento urbano acelerado e desordenado, o uso intensivo dos recursos naturais e a multiplicação de atividades potencialmente poluidoras, torna-se cada vez mais necessário que os municípios assumam um papel ativo na garantia da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida da população.

No âmbito dos municípios, a fiscalização ambiental, utilizando-se do poder de polícia ambiental, tem como função assegurar o cumprimento da legislação ambiental vigente, prevenindo, coibindo e corrigindo práticas que possam causar danos à natureza nos espaços urbanos.

Explica sobre o poder de polícia ambiental, Paulo Affonso Leme Machado (2013):

Poder de polícia ambiental é a atividade da Administração Pública que limita ou disciplina direito, interesse ou liberdade, regula a prática de ato ou abstenção de fato em razão de interesse público concernente à saúde da população, à conservação dos ecossistemas, à disciplina da produção e do mercado, ao exercício de atividades econômicas ou de outras atividades dependentes de concessão, autorização/permissão ou licença do Poder público de cujas atividades possam decorrer poluição ou agressão à natureza.

Destarte, entende-se que o poder de polícia ambiental municipal, realizado pela fiscalização municipal, opera de maneira a prevenir ou coibir danos ao meio ambiente e ao interesse público, fazendo o uso da supremacia do interesse público sobre o particular e de outros princípios presente no arcabouço legal ambiental.

Verifica-se que este poder de polícia administrativo ambiental possui ferramentas a serem utilizadas pelos fiscais, que se apresentam através de notificações, autos de infração e outras penalidades enumeradas no artigo 3º do Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008:

Art. 3º O órgão ou a entidade ambiental, no exercício do seu poder de polícia ambiental, aplicará as seguintes sanções e medidas administrativas cautelares: (Redação dada pelo Decreto nº 12.189, de 2024)

I – advertência;

II – multa simples;

III – multa diária;

IV – apreensão dos animais, produtos e subprodutos da fauna e flora e demais produtos e subprodutos objeto da infração, instrumentos, petrechos, equipamentos ou veículos de qualquer natureza utilizados na infração; (Redação dada pelo Decreto nº 6.686, de 2008).

V – destruição ou inutilização do produto;

VI – suspensão de venda e fabricação do produto;

VII – embargo de obra ou atividade e suas respectivas áreas;

VIII – demolição de obra;

IX – suspensão parcial ou total das atividades; e

X – restritiva de direitos.

Contudo, diversos desafios dificultam a atuação plena da fiscalização ambiental municipal. A escassez de recursos humanos e financeiros, a falta de capacitação técnica constante, a sobreposição de competências entre os entes federativos e a pressão de interesses econômicos são obstáculos recorrentes. Para superá-los, é fundamental que os municípios invistam em estrutura, firmem parcerias com órgãos estaduais e federais, e incentivem a participação popular nas políticas ambientais locais.

Em suma, a Fiscalização Ambiental Municipal é essencial para a construção de cidades mais equilibradas, seguras e ambientalmente responsáveis. Ao atuar de forma eficaz, não apenas garante o respeito às normas, mas também promove um modelo de desenvolvimento que valoriza a vida, a natureza e as futuras gerações.

Assim, diante do que fora apresentado sobre a competência dos municípios na questão do meio ambiente e a existência da fiscalização ambiental municipal que atua no controle do meio ambiente urbano, é importante destacar adiante os compromissos que serão discutidos

pela COP 30 no Brasil, esse ano, que poderão alcançar a atuação da fiscalização de meio ambiente nos municípios.

3. OS COMPROMISSOS CLIMÁTICOS DA COP 30

A 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP30) será realizada na cidade de Belém do Pará, no mês de Novembro de 2025. Esse encontro mundial representa uma referência fundamental na luta global contra as mudanças climáticas. Com foco na Amazônia, na justiça climática e no financiamento verde, a conferência busca acelerar a implementação de compromissos climáticos, revisar os acordos anteriores e as medidas elaboradas em reuniões anteriores e estabelecer metas mais ambiciosas e robustas para atenuar os impactos ao meio ambiente.

A COP 30 irá reunir diversos líderes mundiais, cientistas, organizações não governamentais e representantes da sociedade civil, com o intuito de debater e definir políticas e metas que possam conter o avanço das mudanças climáticas.

Os principais temas a serem discutidos pela conferência, conforme a página eletrônica do governo federal sobre a COP 30, são os seguintes:

1. Redução de emissões de gases de efeito estufa.
2. Adaptação às mudanças climáticas.
3. Financiamento climático para países em desenvolvimento.
4. Tecnologias de energia renovável e soluções de baixo carbono.
5. Preservação de florestas e biodiversidade.
6. Justiça climática e os impactos sociais das mudanças climáticas.

Além de estabelecer uma pauta abrangente e urgente, os temas propostos pela COP 30 reforçam a necessidade de uma ação coordenada entre governos, sociedade civil, setor privado e instituições científicas. A redução das emissões de gases de efeito estufa, por exemplo, exige transformações estruturais nos modos de produção e consumo, bem como o fortalecimento de políticas públicas que promovam uma transição energética justa. Nesse sentido, as discussões sobre fontes de energia limpa e tecnologias de baixo carbono ganham destaque como ferramentas estratégicas para alcançar as metas estabelecidas no Acordo de Paris.

A adaptação às mudanças climáticas também se apresenta como um eixo central, especialmente para países em desenvolvimento que já enfrentam os efeitos extremos do aquecimento global, como secas prolongadas, enchentes, insegurança alimentar e

deslocamentos populacionais. A preservação de florestas e da biodiversidade, nesse contexto, não é apenas uma ação ambiental, mas também social, pois envolve comunidades tradicionais e povos originários que vivem em áreas de grande valor ecológico. Portanto, promover a justiça climática significa reconhecer e mitigar as desigualdades históricas que tornam essas populações mais vulneráveis.

O financiamento climático surge como condição fundamental para que essas transformações possam ocorrer de forma efetiva e equitativa. Os países desenvolvidos têm uma responsabilidade histórica nas emissões acumuladas de carbono e, por isso, devem ampliar seus compromissos com a transferência de recursos financeiros e tecnológicos para os países do Sul Global.

A COP 30, realizada em um país da América Latina, representa uma oportunidade simbólica e concreta para fortalecer o protagonismo dos países em desenvolvimento na governança climática global e para cobrar maior ambição e responsabilidade dos países mais ricos.

Importante destacar que, neste ano, além dos temas que serão debatidos, a Amazônia será discutida, pela primeira vez, dentro da sua própria floresta. Isso representa um momento crucial e fundamental para o debate climático global, já que a floresta amazônica simboliza uma peça-chave na regulação do clima mundial e oportuniza, também, o aumento no foco na proteção da floresta e sua biodiversidade.

Assim, além da discussão da Amazônia, as políticas e metas dialogadas na Conferência das Partes para conter o avanço das mudanças climáticas precisam ser ambiciosas e alcançar todos os níveis do território brasileiro.

Os compromissos da COP 30 podem impactar os municípios brasileiros de diversas maneiras, tanto nas políticas públicas quanto nas práticas sociais, econômicas e ambientais. Desta forma, podem ser apresentados alguns efeitos que a conferência pode causar na atuação local.

No fortalecimento das políticas ambientais locais, a conferência pode estimular os municípios a implementar políticas de redução de emissões de gases do efeito estufa, focar em uma política municipal de fiscalização ambiental mais eficiente, bem como criar, atualizar ou avaliar os planos municipais de mudanças climáticas.

Em relação ao acesso de financiamentos verdes, os municípios que apresentarem compromisso com metas climáticas poderão ter maior acesso a recursos nacionais ou

internacionais, viabilizando projetos de mobilidade urbana, saneamento básico, gestão de resíduos sólidos, energia limpa, reflorestamento e proteção das áreas ambientais, entre outros.

Pode haver o fortalecimento da participação social com uma maior cobrança para a aplicação e transparência das políticas públicas relacionadas ao meio ambiente, o crescimento de audiências públicas que discutam questões ambientais dentro dos municípios e estimular a educação ambiental para a sociedade civil, organizações não governamentais e as juventudes nos debates climáticos locais.

No que diz respeito ao planejamento urbano sustentável é importante proporcionar iniciativas de cidades inteligentes, focando em uma mobilidade urbana sustentável com ciclofaixas, via exclusiva para ônibus, transportes verdes, entre outros e o zoneamento que preserve e proteja áreas verdes, bens públicos e reduza ameaças.

Desta forma, percebe-se que os compromissos da COP 30 podem, através da integração entre todos os entes federativos, impactar positivamente os Municípios, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos e trazendo transformações mais sustentáveis para o dia a dia da população urbana.

4. OPORTUNIDADES PARA OS MUNICÍPIOS

A 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 30) representa uma janela estratégica de oportunidades de financiamentos climáticos para os municípios brasileiros, principalmente os da região norte, incluindo-se também, nesse cenário, a categoria da fiscalização ambiental municipal.

A conferência possui a capacidade de atrair diversos fundos internacionais para projetos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. O Fundo Verde para o Clima (Green Climate Fund - GCF) e o Fundo de Adaptação (Adaptation Fund – AF), Fundo Global para o Meio Ambiente (Global Environment Facility – GEF), Fundo Climático da ONU (UN Climate Resilience Fund – proposto para COP 30) e o Climate Investment Funds (CIF) representam alguns exemplos de meios de oportunidades de financiamentos climáticos.

Conforme o relatório de financiamento climático da Fundação Getúlio Vargas (FGV), de março de 2023:

Esses mecanismos são necessários para ajudar a mobilizar recursos e apoiar ações concretas para enfrentar as mudanças climáticas, especialmente em países em desenvolvimento que têm menos recursos para investir em soluções de baixo carbono e se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas.

Sobre os objetivos dos financiamentos climáticos, aduz o relatório de financiamento climático da Fundação Getúlio Vargas (FGV), de março de 2023:

O objetivo do financiamento climático é fornecer recursos financeiros e técnicos para projetos e programas que promovam a redução de emissões de gases de efeito estufa, a proteção contra os impactos das mudanças climáticas e a promoção de uma transição energética justa e sustentável. Isso inclui investimentos em energia renovável, eficiência energética, agricultura climaticamente inteligente e adaptação ao clima.

Assim, depreende-se que esses investimentos são importantes para os financiamentos climáticos e/ou ambientais em geral para os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, incluindo-se a aplicação desses investimentos a níveis federal, estadual, como também o municipal, podendo essa verba chegar até as fiscalizações ambientais municipais, através de benefícios como o uso de tecnologias para o trabalho da fiscalização, tendo como exemplo a utilização de drones, satélites, sistemas de monitoramento, sonômetros, tablets, entre outros equipamentos os quais autorizem que seja realizado um controle mais efetivo em tempo real das áreas mais vulneráveis às poluições ambientais, desmatamento e demais infrações.

Além dos investimentos em equipamentos, essas verbas podem ser investidas em ações de fiscalização relacionadas ao meio ambiente, como por exemplo operações punitivas e/ou de monitoramento em áreas de proteção ambiental; fiscalizações em áreas que ocorrem lançamentos de água servida; ações voltadas para coibir as poluições atmosféricas, visuais, sonoras, entre outras nos perímetros urbanos; eliminação de abatedouros clandestinos de animais; atuações voltadas para combater o descarte irregular de resíduos sólidos; fiscalizações em áreas de loteamentos clandestinos, dentre outras ações ambientais que podem ser realizadas.

Todas essas ações de benfeitorias para a atuação da fiscalização ambiental, reverberam na melhoria da qualidade de vida e do bem-estar das pessoas, bem como impactam positivamente o próprio município em si. Dessa forma, para Jacobi (2003), “a proteção ambiental está profundamente associada ao direito à saúde, à moradia adequada e a condições dignas de vida nas cidades”.

De acordo com Sánchez (2008), a fiscalização é uma das formas de garantir a efetividade da legislação ambiental, funcionando como um mecanismo corretivo e preventivo. Ao coibir práticas ilegais como desmatamentos, lançamentos irregulares de efluentes e ocupações indevidas de áreas protegidas, os órgãos de fiscalização reduzem os riscos de degradação ambiental que afetam diretamente a saúde e o bem-estar humano.

Desse modo, fortalecer a atuação dos fiscais ambientais significa investir em uma sociedade mais justa, sustentável e saudável. A valorização desses profissionais, por meio de capacitação, melhores condições de trabalho e reconhecimento institucional, é essencial para a efetividade das políticas públicas ambientais. Investimentos direcionados à fiscalização não apenas contribuem para a preservação dos recursos naturais e da biodiversidade, mas também promovem o ordenamento territorial, a prevenção de riscos socioambientais e a melhoria da qualidade de vida da população.

Trata-se, portanto, de uma estratégia fundamental para a construção de cidades mais organizadas, seguras e habitáveis, alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável e aos compromissos climáticos assumidos pelo país.

Acerca da relevância dos investimentos financeiros para o fortalecimento da fiscalização ambiental, a ministra do Meio Ambiente, Marina Silva, destacou em entrevista ao jornal *Folha de São Paulo*, em 2023: “O fortalecimento da fiscalização ambiental depende de investimentos contínuos em estrutura, tecnologia e pessoal capacitado, sem os quais a legislação ambiental torna-se inócua”.

Nesse sentido, ressalta-se a premente necessidade de alocação de investimentos adequados que viabilizem uma gestão eficaz da fiscalização ambiental, com vistas a assegurar a efetividade das políticas públicas ambientais e o fiel cumprimento dos compromissos climáticos internacionais assumidos no âmbito municipal.

Contudo, embora os financiamentos climáticos internacionais e a COP 30 abram um campo promissor de oportunidades para os municípios brasileiros, especialmente os da região Norte, é preciso reconhecer que o acesso a esses recursos ainda encontra obstáculos significativos. A materialização desses investimentos depende diretamente da capacidade institucional, técnica e jurídica dos municípios para elaborar projetos consistentes, atender às exigências dos fundos e implementar ações de maneira eficaz.

É nesse ponto que se impõe uma reflexão sobre os desafios e os limites enfrentados pelos municípios brasileiros na efetivação dessas políticas ambientais. A falta de estrutura

administrativa, a escassez de profissionais qualificados, as limitações orçamentárias e os entraves burocráticos constituem barreiras concretas que comprometem o protagonismo municipal na agenda climática.

Essas questões serão abordadas no próximo capítulo, que discutirá em profundidade os desafios e os limites que os municípios enfrentam na prática para acessar, gerir e aplicar os recursos provenientes dos financiamentos climáticos, e como superá-los é condição essencial para consolidar uma política ambiental local robusta e comprometida com a sustentabilidade.

5. DESAFIOS E LIMITES

A transposição dos compromissos firmados nesta conferência internacional para o contexto municipal brasileiro apresenta desafios significativos, tanto estruturais quanto institucionais. Ainda que o Brasil figure como ator relevante nas negociações globais sobre mudança do clima, a materialização desses compromissos no nível local encontra barreiras expressivas. Entre elas, destacam-se as assimetrias de governança entre as diferentes esferas federativas, a limitação orçamentária crônica dos municípios e a carência de quadros técnicos especializados para conduzir agendas ambientais complexas. Soma-se a esse quadro a fragilidade dos instrumentos de planejamento urbano e ambiental, frequentemente desarticulados entre si e sujeitos à descontinuidade administrativa. Dessa forma, a distância entre os compromissos assumidos em fóruns internacionais e sua efetiva implementação nas cidades brasileiras revela não apenas as dificuldades estruturais da gestão pública local, mas também a necessidade urgente de fortalecimento institucional, de integração multiescalar e da consolidação de políticas públicas que confirmem maior protagonismo aos municípios na agenda climática global.

Segundo Viola e Franchini (2018), a governança climática no Brasil é marcada por uma forte assimetria entre os níveis federal, estadual e municipal, o que dificulta a consolidação de uma política climática nacional integrada. Essa lacuna institucional se manifesta, sobretudo, na limitação das capacidades técnicas e financeiras dos governos locais. Tal condição se agrava nos municípios de pequeno e médio porte, onde geralmente não há quadros técnicos especializados, tampouco orçamento destinado à agenda ambiental.

Dados do ICLEI (2023) indicam que menos de 10% dos municípios brasileiros possuem planos de ação climática estruturados, revelando uma lacuna entre os compromissos internacionais e a realidade das administrações locais. Maroun, Santos e Ferreira (2021)

ênfatisam que “os governos locais enfrentam limitações orçamentárias crônicas, o que restringe a alocação de recursos para ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas”, além da escassez de políticas públicas que incentivem de forma sistemática a integração do planejamento urbano com estratégias de resiliência climática.

Outro obstáculo relevante refere-se à governança federativa. Abramovay (2012) argumenta que “o enfrentamento das mudanças climáticas exige um novo pacto de governança que integre ações de forma multiescalar e intersetorial”, um processo que ainda carece de amadurecimento no Brasil. Essa deficiênci a compromete a articulação entre os entes federados e limita a eficácia dos instrumentos de planejamento e financiamento climático.

Ainda segundo o Observatório do Clima (2022), a ausência de inventários municipais de emissões de gases de efeito estufa é outro fator que dificulta a elaboração de metas realistas e mecanismos de monitoramento. Sem uma base de dados sólida, os planos locais carecem de respaldo técnico e científico, tornando-se frágeis diante das exigências internacionais.

Nesse cenário, a fiscalização ambiental municipal assume papel central, uma vez que é ela quem garante, no cotidiano das cidades, o cumprimento das normas ambientais, o controle do uso do solo, a prevenção de ocupações em áreas de risco e a inibição de atividades poluidoras. No entanto, a atuação fiscalizatória enfrenta entraves históricos, como a carênci a de pessoal, a precarização das condições de trabalho e a falta de integração com políticas de planejamento urbano e de gestão climática. Essa fragilidade compromete a efetividade das ações locais e revela a necessidade de fortalecer a estrutura institucional e valorizar os profissionais da fiscalização como agentes estratégicos da agenda climática.

Leff (2006) alerta que os caminhos para a sustentabilidade não são impostos por decretos ou compromissos globais, mas construídos por meio de práticas políticas cotidianas e gestão territorial democrática. Assim, a efetivação dos compromissos da COP 30 nos municípios brasileiros dependerá de uma série de ações estruturantes, como o fortalecimento institucional, a capacitação técnica de gestores públicos e também dos demais servidores públicos, o aprimoramento da governança federativa e o acesso a fontes de financiamento climático.

Nesse contexto, a COP 30 configura-se como uma oportunidade estratégica para o reposicionamento dos municípios como protagonistas da ação climática. No entanto, para que

essa oportunidade se concretize, será necessário enfrentar os entraves históricos da gestão ambiental local e promover uma integração efetiva entre os compromissos internacionais e as políticas públicas locais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 30) no Brasil representa um marco estratégico para fortalecer a governança climática em âmbito municipal. O estudo evidenciou que a fiscalização ambiental nos municípios exerce papel central na implementação de políticas públicas sustentáveis, atuando na prevenção, controle e correção de práticas que possam comprometer a qualidade ambiental e a vida das populações.

A análise demonstrou que os municípios possuem competência constitucional e legal para legislar e fiscalizar o meio ambiente, utilizando instrumentos como o poder de polícia ambiental, autos de infração e demais medidas administrativas. Entretanto, a efetividade dessas ações enfrenta desafios significativos, incluindo limitações financeiras, carência de profissionais capacitados, fragilidade institucional e sobreposição de competências entre os diferentes entes federativos.

A COP 30, ao pautar temas como redução de emissões, adaptação às mudanças climáticas, financiamento climático, preservação da biodiversidade e justiça climática, oferece oportunidades concretas para fortalecer a atuação municipal. Entre essas oportunidades destacam-se o acesso a financiamentos internacionais, a modernização da fiscalização ambiental por meio de tecnologias inovadoras e o estímulo à participação social e ao planejamento urbano sustentável.

Por outro lado, o estudo evidencia que a transformação dos compromissos internacionais em ações locais depende do fortalecimento institucional, da integração, da capacitação técnica de gestores e servidores públicos e da valorização do corpo de fiscalização ambiental. Sem esses elementos, o potencial transformador da COP 30 para os municípios brasileiros pode não se concretizar plenamente.

Portanto, conclui-se que a fiscalização ambiental municipal é um instrumento estratégico para traduzir metas globais em ações locais efetivas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, a proteção dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida. A COP 30 se apresenta, assim, como uma oportunidade histórica para consolidar o

protagonismo dos municípios na agenda climática global, reforçando a necessidade de políticas integradas, investimentos adequados e um compromisso contínuo com a sustentabilidade e a justiça climática.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, Ricardo. **Muito além da economia verde**. São Paulo: Planeta Sustentável, 2012.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Panorama da ação climática local no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://iclei.org>. Acesso em: 3 out. 2025.

JACOBI, Pedro Roberto. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. **Cadernos de Pesquisa**. São Paulo, n. 118, p. 189-205, 2003.

LEFF, Enrique. **Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

MARINA SILVA. **Entrevista ao jornal Folha de S.Paulo**. São Paulo, 2023.

MAROUN, M. R.; SANTOS, C. A.; FERREIRA, R. **Governança Climática Local: desafios para os municípios brasileiros**. Revista Brasileira de Políticas Públicas, Brasília, 2021.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 23. ed. São Paulo: Malheiros, 2013.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Desafios e oportunidades para a ação climática nos municípios**. 2022. Disponível em: <https://www.oc.eco.br>. Acesso em: 3 out. 2025.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VIOLA, Eduardo; FRANCHINI, Matías. **Política climática global e o Brasil: 2005–2016**. São Paulo: Editora 34, 2018.

VEJA mais sobre “COP 30”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/cop-30.htm>. Acesso em: 3 out. 2025.

CONSTITUIÇÃO (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre a cooperação entre a União, os Estados e os Municípios nas ações administrativas relativas à proteção do meio ambiente, à prevenção de danos ambientais e ao licenciamento ambiental**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 dez. 2011.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 fev. 1998.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. **Regulamenta as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jul. 2008.

BRASIL. Decreto nº 12.189, de 2024. **Altera dispositivos do Decreto nº 6.514/2008 relativos às sanções administrativas ambientais.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2024.

CAPÍTULO II

INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR COMO ESPAÇOS DE SUSTENTABILIDADE: VIABILIDADE SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO IFTM

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AS SPACES FOR SUSTAINABILITY: SOCIOECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC ENERGY AT IFTM

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-2

Pamela Beatriz de Menezes Lemos ¹

¹ Especialista em Gestão Ambiental – Diagnóstico e Adequação Ambiental. Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM

RESUMO

As Instituições de Ensino Superior (IES) desempenham papel estratégico na promoção do desenvolvimento sustentável, ao integrarem ações pedagógicas a práticas de gestão ambientalmente responsáveis. Este estudo analisa a viabilidade socioeconômica e ambiental da implantação de um sistema de energia fotovoltaica no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), sob a perspectiva da sustentabilidade organizacional e da eficiência na gestão de recursos públicos. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem quantitativa, fundamentado em indicadores de desempenho financeiro e em estimativas de mitigação de impactos ambientais. Os resultados indicam que a transição para a matriz solar é economicamente viável, proporcionando uma redução média de 22,36% nos custos operacionais com energia elétrica. Sob a perspectiva ambiental, estima-se que a adoção do sistema fotovoltaico evite a emissão de aproximadamente 383,22 kg de CO₂ por ano. No âmbito socioambiental, a iniciativa reforça o papel institucional do IFTM como agente de transformação, além de exemplificar a aplicação prática de tecnologias limpas no setor público. Conclui-se que a adoção de sistemas fotovoltaicos transcende a eficiência administrativa, configurando-se também como uma ferramenta de educação ambiental indireta, alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e às diretrizes de modernização da administração pública.

Palavras-chave: Sustentabilidade Organizacional. Gestão pública. Instituições de Ensino Superior. Emissões de Gases de Efeito Estufa. Energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

Higher Education Institutions (HEIs) play a strategic role in promoting sustainable development by integrating pedagogical actions with environmentally responsible management practices. This study analyzes the socioeconomic and environmental feasibility of implementing a photovoltaic energy system at the Federal Institute of the Triângulo Mineiro (IFTM), from the perspective of organizational sustainability and efficiency in the management of public resources. The research is characterized as a case study with a quantitative approach, based on financial performance indicators and estimates of environmental impact mitigation. The results indicate that the transition to a solar energy matrix is economically viable, providing an average reduction of 22.36% in operational electricity costs. From an environmental perspective, it is estimated that the adoption of the photovoltaic system would prevent the emission of approximately 383.22 kg of CO₂ per year. From a socio-environmental standpoint, the initiative strengthens the institutional role of IFTM as an agent of transformation and exemplifies the practical application of clean technologies in the public sector. It is concluded that the adoption of photovoltaic systems goes beyond administrative efficiency, also constituting an indirect environmental education tool, aligned with Sustainable Development Goal (SDG) 7 and with the modernization guidelines of public administration.

Keywords: Organizational Sustainability. Public Management. Higher Education Institutions. Greenhouse Gas Emissions. Photovoltaic Solar Energy.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica, associada aos desafios ambientais e fiscais enfrentados pelo setor público, tem impulsionado a busca por alternativas energéticas sustentáveis e economicamente viáveis (World Bank, 2019). Nesse contexto, a transição para fontes renováveis configura-se não apenas como uma estratégia ambiental, mas também como um instrumento de gestão pública voltado à eficiência no uso de recursos e à mitigação de impactos ambientais.

As Instituições de Ensino Superior (IES) desempenham papel estratégico nesse processo, uma vez que concentram elevado consumo energético decorrente de suas atividades administrativas, acadêmicas e laboratoriais (Boafo *et al.*, 2025). Além disso, essas instituições são reconhecidas como espaços privilegiados para a promoção da sustentabilidade, ao integrarem práticas de gestão ambiental responsável à formação acadêmica, à produção de conhecimento e à cultura organizacional (Rieg; Gatersleben; Christie, 2021). A incorporação de tecnologias limpas em seu funcionamento cotidiano contribui para alinhar desempenho institucional, responsabilidade socioambiental e uso racional de recursos públicos (Cruz-Cárdenas; Parra-Domínguez, 2023).

Entre as alternativas disponíveis, a energia solar fotovoltaica destaca-se pelo elevado potencial de aproveitamento no território brasileiro, em função da alta incidência de radiação solar ao longo do ano (Brasil, 2024b). Sua adoção permite reduzir a dependência de fontes convencionais, minimizar perdas na transmissão de energia e diminuir a emissão de gases de efeito estufa, além de apresentar custos de operação e manutenção relativamente baixos (Nunes; Braga; Reis, 2019; Vian, 2021). Essas características tornam a tecnologia especialmente atrativa para o setor público, especialmente em contextos institucionais que demandam previsibilidade orçamentária e eficiência dos gastos (World Bank, 2019; Mahn, 2024).

Estudos realizados em diferentes regiões do país demonstram a viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos em ambientes educacionais, evidenciando reduções significativas nos custos com energia elétrica e prazos de retorno do investimento compatíveis com a realidade das instituições públicas (Da Silva *et al.*, 2012; França; Cervantes; Aguedo, 2019; Silva, Ferreira; Zukowski Júnior, 2017; Krasnhak *et al.*, 2018; Carvalho, 2018; Queiroz; Monteiro Sobrinho, 2019). Esses trabalhos também reforçam que,

além dos benefícios econômicos, a adoção da energia solar contribui para a redução de impactos ambientais e para o fortalecimento de práticas sustentáveis no âmbito institucional.

No âmbito das políticas públicas, a adoção de fontes renováveis está alinhada aos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, em especial aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Destaca-se, nesse sentido, o ODS 7, que visa “assegurar o acesso à energia limpa, confiável, sustentável e a preço acessível” (ONU, p. 6, 2015), reforçando a importância da modernização das matrizes energéticas e do uso eficiente da energia. Assim, a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições públicas de ensino pode ser compreendida como uma estratégia concreta de operacionalização desses compromissos no nível institucional, fortalecendo o papel das IES como espaços educadores sustentáveis (Cavalheiro Neto, 2023).

Diante desse cenário, torna-se relevante avaliar, em escala local, a viabilidade de sistemas fotovoltaicos em instituições públicas de ensino, considerando suas especificidades estruturais, operacionais e econômicas. Assim, este estudo discorre sobre um estudo de caso aplicado sobre a viabilidade socioeconômica e ambiental da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no Campus Uberaba do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), compreendendo a adoção dessa tecnologia como uma estratégia de sustentabilidade organizacional e de alinhamento às diretrizes da Agenda 2030.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Suprir as necessidades da economia e, simultaneamente, proteger o meio ambiente constitui um grande desafio. Para que haja progresso sustentável, é necessário promover a transição energética, substituindo fontes não renováveis e poluidoras por alternativas renováveis e limpas (Santos *et al.*, 2024).

Contudo, a exploração de qualquer recurso energético ocasiona alterações no meio ambiente, com impactos de maior ou menor intensidade (Micheletti *et al.*, 2025). A instalação de geradores eólicos, usinas térmicas e hidrelétricas podem modificar paisagens, ocupar grandes áreas e afetar habitats naturais, enquanto a fabricação de geradores eólicos e células fotovoltaicas envolve o uso de materiais tóxicos, resultando em impactos ambientais relevantes (Góes, 2023; Lima, 2023).

Nesse contexto, torna-se essencial selecionar fontes que apresentem alta capacidade de renovação e baixo potencial poluidor. Ao comparar os prós e os contras das diferentes opções de energia limpa, a energia solar destaca-se pelo melhor custo-benefício.

2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: POTENCIAL E APLICAÇÕES

O Sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. Dado que o total de energia solar absorvida pela Terra é de aproximadamente 3.850.000 exajoules (EJ) por ano (Berton, 2015) e que ainda poderemos aproveitar a energia do Sol durante cerca de 8 bilhões de anos (Villalva; Gazoli, p. 16, 2012; Brasil, 2024a), fica evidente que a energia solar tem o maior potencial energético para ser aproveitado em diferentes níveis no mundo.

No Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território sendo que em locais distantes dos centros de produção de energia, seu uso auxilia a redução da demanda energética e, conseqüentemente, da perda de energia que ocorreria na transmissão além da redução de emissão de gases de estufa, que com a utilização desta fonte de energia limpa é estimada em 400.000 toneladas por ano (Berton, 2015).

A energia fotovoltaica pode ser usada diretamente para aquecer o ambiente e/ou água e para produzir eletricidade (Pacheco, 2006), o que na atualidade pode ser mediante a instalação de módulos fotovoltaicos incorporados de diversas formas em estruturas de edifícios como em telhados inclinados, em formas de telhas fotovoltaicas, em fachadas ou em toldos.

Em locais remotos ou de difícil acesso, onde não existe rede elétrica ou onde seja muito difícil conectar, a energia solar pode ser uma excelente alternativa para fornecer eletricidade, a pois sua instalação em pequena proporção não requer grandes investimentos em linhas de transmissão (Berton, 2015). Nessa perspectiva, a energia solar fotovoltaica demonstra também um grande potencial nos países em desenvolvimento visto que as redes elétricas são bastante instáveis ou inexistentes e, geralmente, há elevados índices de irradiação ao longo de todo o ano, que tornam a energia solar a solução mais viável (Rocha, 2015). Por esses motivos, a energia solar é utilizada por governos para levar energia elétrica às comunidades distantes das linhas de transmissão (Pacheco, 2006).

2.3. O USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Nas últimas décadas o aumento da acessibilidade a essa tecnologia permitiu o desenvolvimento de projetos que visam fomentar a aquisição de sistemas fotovoltaicos e trazer os benefícios sociais, econômicos e ambientais da energia solar para suas instituições. Em 2008, Dazcal e Mello Júnior desenvolveram a análise da viabilidade de um sistema fotovoltaico para um edifício de um campus universitário na cidade de São Paulo, SP. Em sua produção, França, Cervantes e Aguedo (2019) ponderaram as atribuições como “alta confiabilidade e robustez com baixa necessidade de operação manutenção e reposição” (p. 1) da energia solar e propuseram um SF para os dois edifícios de uma universidade rural em Pernambuco.

No ano de 2010, Takenaka produziu sua dissertação para avaliar o potencial econômico que traria a instalação da tecnologia fotovoltaica nas áreas de cobertura das edificações de uma instituição de ensino público em Minas Gerais. Silva, Ferreira e Zukowski Júnior (2017) discutiram as potencialidades da energia solar pensando em sua viabilidade no prédio da biblioteca de um campus no Tocantis. Abrindo caminho para o investimento em um “sistema de geração não poluente e inesgotável de energia com uma economia na contenção de gastos” (p. 5), Carvalho (2018) iniciou um estudo voltado para alimentação energética do prédio de laboratórios de um campus universitário em Patos de Minas, MG.

Em São Luís, MA, Da Silva *et al.* (2012) se dispuseram a “auxiliar o setor financeiro e a preservação dos recursos naturais” (p. 1), projetando a iluminação de todo um campus usando um sistema fotovoltaico. Os autores Krasnhak *et al.* (2018), atentos à relação entre o bem-estar de uma pessoa e a qualidade da luz em um ambiente, projetaram um sistema de iluminação artificial para um bloco de sala de aulas de um campus universitário em Curitiba, PR.

Na cidade de Mossoró, RN, os autores Queiroz e Monteiro Sobrinho (2019) estudaram a viabilidade de conectar a tecnologia fotovoltaica à central de aulas de uma universidade rural no semiárido. Os benefícios da energia solar foram propostos por Sarruf e Piga (2006) para um campus inteiro em Campinas, SP.

Em suas pesquisas sobre a viabilidade do uso da energia solar em suas instituições de ensino os autores constataram resultados favoráveis ao investimento como: economizar mensalmente R\$20.000,00 com o uso de um sistema fotovoltaico (Dazcal; Mello Júnior, 2008);

em um período de 30 de anos economizarem R\$6.794.358,86 segundo o projeto de França, Cervantes e Aguedo (2019); o lucro líquido de R\$ 140.795,23 ao realizar a implantação do projeto de energia solar (Silva; Ferreira; Zukowski Júnior, 2017); a economia de 87,8% em um período de 20 anos de execução do projeto (Da Silva *et al.*, 2012); a economia que chegou a 95% no projeto de iluminação de Krasnhak *et al.* (2018); e o tempo de retorno do investimento entre 4 anos (Sarruf; Piga, 2006; Carvalho, 2018) e 5 anos (Takenaka, 2010; Queiroz, Monteiro Sobrinho, 2019). Esses achados reforçam o potencial da energia solar fotovoltaica como alternativa estratégica para a gestão energética institucional.

3. CARACTERIZAÇÃO INSTITUCIONAL DO IFTM – CAMPUS UBERABA

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) – Campus Uberaba teve início em 1953 e consolidou-se como Instituto Federal em 2008, passando por sucessivas transformações que ampliaram sua atuação na educação profissional, científica e tecnológica. Ao longo desse processo histórico, a instituição expandiu a oferta de cursos técnicos, de graduação e de pós-graduação, articulando ensino, pesquisa e extensão, com destaque para áreas vinculadas às ciências agrárias, ambientais e tecnológicas (Brasil, 2026).

Atualmente, o campus ocupa uma área aproximada de 472 hectares, com cerca de 20 mil metros quadrados de área construída, distribuída entre setores administrativos, salas de aula equipadas com recursos audiovisuais, laboratórios, biblioteca, auditórios e espaços destinados a atividades acadêmicas, esportivas e de convivência. Essa infraestrutura robusta sustenta o funcionamento cotidiano da instituição e implica elevado consumo de energia elétrica, predominantemente suprido pela matriz hidrelétrica estadual (Brasil, 2026).

Embora a matriz hidrelétrica seja considerada uma fonte renovável, sua dependência dos regimes hidrológicos e os impactos ambientais associados à construção de barragens evidenciam limitações quanto à sua sustentabilidade a longo prazo, especialmente diante das mudanças climáticas e da intensificação do uso dos recursos naturais. Nesse cenário, a busca por fontes alternativas de energia que conciliem eficiência, viabilidade econômica e menor impacto ambiental torna-se particularmente relevante no contexto das instituições públicas de ensino.

Dessa forma, o IFTM – Campus Uberaba apresenta-se como um espaço institucional propício para a análise da viabilidade da adoção de sistemas de energia solar fotovoltaica. Assim, este capítulo desenvolve um estudo de caso sobre a viabilidade socioeconômica e ambiental da implantação dessa tecnologia no bloco de salas de aula da pós-graduação do campus, buscando analisar seus potenciais impactos e suas implicações para a gestão institucional e para a promoção da sustentabilidade em instituições públicas de ensino.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DO ESTUDO DE CASO

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem descritiva e analítica, cujo objetivo foi avaliar a viabilidade socioeconômica e ambiental da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma edificação institucional específica. Os procedimentos metodológicos adotados foram definidos de modo a representar as condições reais do campus e subsidiar a análise técnica, econômica e ambiental da proposta.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E LEVANTAMENTO DE CONSUMO ENERGÉTICO

A área de estudo corresponde ao bloco de salas de aula da pós-graduação da instituição. Inicialmente, foi realizado o levantamento das características físicas e operacionais da edificação, incluindo dimensões das salas, quantidade e potência dos equipamentos elétricos, número de tomadas e coordenadas geográficas da instalação. A partir dessas informações, o consumo de energia em kWh por mês foi determinado utilizando o Simulador de Consumo da CEMIG (2020), buscando representar o padrão real de uso energético da instalação.

4.2. MODELAGEM DO EDIFÍCIO

Com o objetivo de subsidiar as análises posteriores, foi elaborada a representação geométrica do bloco de salas de aula com base em imagens de satélite obtidas por meio do Google Earth (Google Inc., 2020). A modelagem tridimensional do edifício foi desenvolvida no software SketchUp (Trimble Navigation, 2020), considerando a disposição da cobertura, as dimensões aproximadas da edificação e sua orientação geográfica, de modo a refletir as condições reais do local.

4.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado a partir da estimativa da demanda energética do edifício e dos dados de radiação solar obtidos da estação meteorológica do IFTM, referentes à área do campus. Esses parâmetros serviram como base para a definição de um sistema fotovoltaico on-grid capaz de atender à demanda elétrica da edificação, considerando critérios técnicos e operacionais compatíveis com o contexto institucional.

4.4. SIMULAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA

Para a obtenção de parâmetros técnicos do sistema, tais como potência instalada, quantidade de módulos fotovoltaicos, área necessária para instalação e carga estrutural aproximada, utilizou-se a ferramenta de simulação disponibilizada pela plataforma Solar Livre (2020). Os resultados das simulações foram empregados como subsídio para a análise da viabilidade técnica da proposta.

4.5. ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica foi avaliada por meio da estimativa dos custos do sistema fotovoltaico, por meio de uma pesquisa de mercado, da economia anual de energia elétrica e do cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback* simples), com base nos valores praticados em 2020. Essa análise teve como finalidade verificar a compatibilidade do investimento com a realidade orçamentária de instituições públicas de ensino.

4.6. ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

A estimativa da redução das emissões de GEE considerou dois cenários: (i) consumo integral de energia elétrica proveniente da rede convencional e (ii) atendimento da demanda por meio de geração fotovoltaica. No primeiro cenário, as emissões foram estimadas a partir do consumo anual de energia do bloco multiplicado pelo Fator de Emissão do Sistema Interligado Nacional (FE SIN), para o ano de 2020, de 0,0617 kgCO₂/kWh (Equação 1). No segundo cenário, consideraram-se desprezíveis as emissões operacionais associadas à geração fotovoltaica, aplicando-se o mesmo fator de emissão (Equação 2). A diferença entre os dois cenários corresponde à redução anual de emissões de CO₂ proporcionada pela implantação do sistema (Equação 3).

$$E_{rc} = C_{anual} \times FE_{SIN} \quad (1)$$

Legenda: E_{RC} : emissões da rede convencional em kgCO₂. C_{anual} : consumo anual de energia em kWh. FE_{SIN} : Fator de Emissão do Sistema Interligado Nacional para o ano de 2020.

$$E_{fv} = G_{anual} \times FE_{SIN} \quad (2)$$

Legenda: E_{fv} : emissões fotovoltaicas em kgCO₂. G_{anual} : geração anual de energia fotovoltaica kWh. FE_{SIN} : Fator de Emissão do Sistema Interligado Nacional para o ano de 2020.

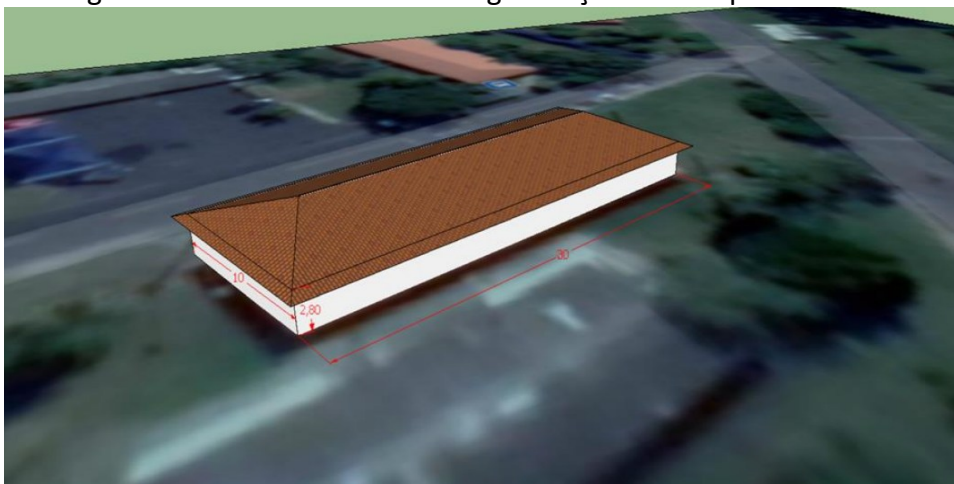
$$ER = E_{rc} - E_{fv} \quad (3)$$

Legenda: ER: redução de emissões de GEE em kgCO₂/ano. E_{rc} : emissão da rede convencional em kgCO₂. E_{fv} : emissão fotovoltaica em kgCO₂.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bloco de salas de aula da pós-graduação do Campus Uberaba do IFTM está localizado nas coordenadas 19°39'51.7"S e 47°58'07.5"W e possui área aproximada de 200 m² (Figura 1). A edificação é composta por três salas de aula com padrão semelhante de equipamentos elétricos e infraestrutura, além de dispositivos externos de apoio (Anexo A).

Figura 1 – Bloco de Salas da Pós-graduação do Campus Uberaba.



Fonte: Autoria própria, adaptada de Google Earth e Google SketchUp (2020).

Embora seja destinado prioritariamente às atividades de três cursos de pós-graduação, o bloco é utilizado ao longo do dia por outros cursos do campus, resultando em um período médio de uso de aproximadamente 16 horas diárias, durante 22 dias por mês. Durante esse período, todos os equipamentos presentes no bloco são utilizados, incluindo: 61 lâmpadas de

18W, 3 projetores de 409 W cada, 3 aparelhos de ar-condicionado de 1.739 W cada e 1 bebedouro de 127 W. Esses equipamentos, em conjunto, consomem aproximadamente 476,608 kWh/mês (CEMIG, 2020). Assim, o consumo anual estimado é de 5.719,296 kWh (Tabela 1).

Tabela 1 – Consumo energético mensal.

| Equipamento | Quantidade | Dias de uso | Horas de uso | Potência |
|-----------------|------------|-------------|--------------|-----------|
| Lâmpadas | 61 | 22 | 16 | 18W |
| Projektor | 3 | 22 | 16 | 409W |
| Ar-condicionado | 3 | 22 | 16 | 1739W |
| Bebedouro | 1 | 22 | 16 | 127W |
| Total kWh/mês | | | | 476,608 |
| Total kWh/ano | | | | 5.719,296 |

Fonte: Autoria própria, 2020.

A demanda energética estimada para o bloco de salas de aula indicou a necessidade de um sistema fotovoltaico on-grid capaz de suprir integralmente o consumo anual da edificação. As simulações técnicas apontaram para a instalação de um sistema com potência total de 3,96 kWp, composto por 12 módulos fotovoltaicos, ocupando uma área aproximada de 25,2 m² da cobertura e com carga estrutural compatível com a edificação existente.

A análise comparativa entre diferentes fornecedores de painéis, inversores e autotransformadores foi realizada considerando critérios de eficiência, garantia técnica e custo-benefício (Anexo B). Com base nesses parâmetros, optou-se por um conjunto de equipamentos que apresentou melhor equilíbrio entre desempenho técnico e viabilidade econômica.

O investimento total estimado para a implantação do sistema fotovoltaico foi de R\$ 26.148,29. Considerando a economia anual projetada de R\$ 5.846,11, o tempo de retorno simples do investimento foi estimado em aproximadamente 4,4 anos, o que representa cerca de 22,4% do valor investido ao ano.

Esse resultado está em consonância com estudos realizados em instituições de ensino brasileiras, os quais apontam tempos de retorno semelhantes para sistemas fotovoltaicos de pequeno e médio porte, especialmente em contextos de elevada insolação e tarifas crescentes de energia elétrica.

Tabela 2 – Investimento.

| Equipamento | Marca | Tipo | Valor (und) | Qtd. | Custo |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|------|---------------|
| Painel | <i>RISEN</i> | 330W | R\$640,77 | 12 | R\$ 7.689,24 |
| Inversor | <i>GROWATT</i> | on-grid trifásico | R\$15.861,05 | 1 | R\$ 15.861,05 |
| Autotransformador | <i>SIEMETRAFO</i> | 30kVA trifásico | R\$ 2.598,00 | 1 | R\$ 2.598,00 |
| Total | | | | | R\$ 26.148,29 |

Fonte: autoria própria, 2020.

A substituição do consumo de energia elétrica da rede convencional por geração fotovoltaica resultou em benefícios ambientais expressivos. Considerando o fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional referente ao ano de 2020, estimou-se que o consumo anual do bloco de salas de aula implicaria na emissão de aproximadamente 352,9 kgCO₂/ano.

A geração fotovoltaica anual estimada de 6.211 kWh supera a demanda do edifício em cerca de 8,6%, o que resultaria em uma redução potencial de até 383,2 kgCO₂/ano, considerando a injeção do excedente energético na rede. Esse resultado evidencia que o sistema não apenas neutraliza as emissões operacionais da edificação, mas também contribui para a descarbonização da matriz elétrica institucional.

5.1. IMPLICAÇÕES INSTITUCIONAIS, SOCIAIS E ALINHAMENTO COM A AGENDA 2030

O Brasil, por estar localizado na zona intertropical, apresenta elevada disponibilidade de radiação solar, o que favorece a geração de energia fotovoltaica. Em Minas Gerais, os índices médios chegam a 7 kWh/m²/dia, e, especificamente na região de Uberaba, a média anual é de 6,5 kWh/m²/dia. Essa condição confere ao projeto robustez técnica, reforçando o potencial da energia solar no contexto brasileiro.

A simulação realizada para o Campus Uberaba do IFTM indicou que os 12 módulos fotovoltaicos produziram 6.211 kWh/ano, valor superior ao consumo estimado da instituição (5.719,3 kWh/ano). Isso significa que a produção atenderia integralmente à demanda, com excedente de aproximadamente 8,6%. Segundo a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, vigente em 2020, esse excedente poderia ser injetado na rede e convertido em créditos energéticos, contribuindo para maior economia.

Em termos econômicos, a projeção de economia anual foi de R\$5.846,11, representando 22,36% do investimento inicial (R\$ 26.148,29). O tempo de retorno, estimado

em 4,4 anos, está de acordo com resultados relatados em instituições de ensino brasileiras (Dazcal; Mello Júnior, 2008; França, Cervantes; Aguedo, 2019; Silva; Ferreira; Zukowski Júnior, 2017). Esses valores confirmam o caráter atrativo da tecnologia fotovoltaica, sobretudo em cenários de tarifas crescentes de energia elétrica.

Outro aspecto positivo foi a escolha dos equipamentos, em especial o painel RISEN modelo POLI-PERC-FULL-CELL, que alia custo-benefício, eficiência e garantia técnica. Essa decisão reflete a importância de análises de mercado criteriosas, apontada também por Carvalho (2018) e Queiroz e Monteiro Sobrinho (2019), para assegurar a durabilidade e a confiabilidade de projetos fotovoltaicos.

Além da viabilidade econômica, a adoção de energia solar em instituições de ensino possui implicações sociais e ambientais relevantes. A redução de custos operacionais pode ser revertida em melhorias acadêmicas, enquanto a diminuição da emissão de gases de efeito estufa contribui para políticas de sustentabilidade (Cruz-Cárdenas; Parra-Domínguez, 2023). Nesse sentido, o Campus Uberaba do IFTM não apenas reduziria sua dependência energética, mas também tornar-se-ia referência em práticas sustentáveis no setor educacional.

A implantação do sistema fotovoltaico on-grid no Campus Uberaba do IFTM alinha-se diretamente às metas da Agenda 2030 da ONU, especificamente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (Cavalheiro Neto, 2023). Ao substituir o consumo da rede convencional por uma fonte renovável e atingir uma redução de 383,22 kgCO₂/ano, o projeto contribui para a meta de aumento da participação de energias renováveis na matriz energética global (Meta 7.2) e para a promoção da eficiência energética institucional (Meta 7.3). Assim, mais do que uma economia financeira, a geração de 6.211 kWh/ano consolida o papel da instituição de ensino como um modelo de sustentabilidade e inovação tecnológica, demonstrando a viabilidade de infraestruturas modernas que mitigam os impactos ambientais no setor educacional.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. As estimativas foram baseadas em simulações, sem contemplar fatores como perdas por sombreamento, degradação dos módulos ao longo do tempo ou variações sazonais na geração. A análise econômica também depende da tarifa praticada pela distribuidora, sujeita a mudanças que podem alterar o prazo de retorno.

Os resultados obtidos corroboram estudos prévios que apontam a viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos em instituições de ensino. A associação

entre retorno financeiro e benefícios ambientais observada neste estudo está em consonância com a literatura, especialmente em contextos de elevada insolação, como o brasileiro. Esses achados reforçam o potencial da energia solar fotovoltaica como alternativa estratégica para a gestão energética institucional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, conclui-se que a implantação do sistema fotovoltaico no Campus Uberaba do IFTM é técnica e economicamente viável, apresentando-se como uma solução estratégica para a gestão energética institucional. A elevada incidência solar da região, somada à eficiência dos módulos selecionados, garante uma geração de 6.211 kWh/ano, o que não apenas supre a demanda do bloco estudado, mas gera um excedente de 8,6% para a rede elétrica da instituição.

Do ponto de vista financeiro, o tempo de retorno do investimento (*payback*) de 4,4 anos é considerado baixo frente à vida útil do sistema, comprovando que a economia gerada (aproximadamente R\$5.846,11 anuais) justifica o aporte de capital inicial. No âmbito ambiental, a substituição da energia da rede pela fonte solar permite uma redução de 383,22 kgCO₂/ano, meta que cumpre as diretrizes globais do ODS 7 e posiciona o IFTM como uma instituição comprometida com a descarbonização e a Agenda 2030 da ONU.

Portanto, embora existam limitações inerentes às simulações, como variáveis sazonais e degradação de componentes, o projeto cumpre seu papel primordial: promover a autossuficiência energética com responsabilidade fiscal e ambiental. Esse estudo evidencia que a sustentabilidade pode ser incorporada de maneira estratégica no planejamento institucional, contribuindo para o desenvolvimento de uma cultura educacional voltada para a responsabilidade socioambiental.

Por fim, a relevância deste estudo é reiterada pela convergência de seus resultados com as diretrizes de gestão do Campus Uberaba do IFTM. Durante a etapa de divulgação dos resultados desta pesquisa, a gestão institucional confirmou a existência de planos para uma infraestrutura fotovoltaica em todas as dependências da unidade. Tal fato valida as premissas técnicas e econômicas aqui discutidas, demonstrando que a análise acadêmica reflete com precisão as tendências de modernização e sustentabilidade adotadas pela administração pública.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao gentil professor Doutor Adley Camargo Ziviani pelos valiosos ensinamentos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2008) **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 3ª ed., 236 p.
- BRASIL. Instituto Federal do Triângulo Mineiro. Campus Uberaba. **Histórico**. 2026. Disponível em: <https://iftm.edu.br/uberaba/historico/>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). **Dia do Sol: homenagem ao astro-rei**. 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/dia-do-sol-homenagem-ao-astro-rei>. Acesso em: 30 set. 2025.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Luz Para Todos: energia solar já beneficiou mais de 150 mil consumidores da Amazônia Legal**. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/luz-para-todos-energia-solar-ja-beneficiou-mais-de-150-mil-consumidores-da-amazonia-legal>. Acesso em: 30 set. 2025.
- BERTON, C. S. Energia Solar. **Fontes de energia**. Ilha Solteira, SP: UNESP, jul. 2015. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/index.php/webmail#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/eco2/fontes-de-energia/solar/>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BOAFO H. K., *et al.* Assessing the Nature of Energy Consumption in Institutions of Higher Education. **International Journal Of Multidisciplinary Research And Analysis**. Volume 08 Issue 04. 2025. DOI: 10.47191/ijmra/v8-i04-45, Impact Factor: 8.266
- CARVALHO, A. P. A. **Estudo para possível implementação de energia fotovoltaica para alimentação do prédio de laboratórios da UFU Campus Patos de Minas**. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.
- CAVALHEIRO NETO, A. **O papel dos Centros Universitários do Estado do Paraná no desenvolvimento dos ODS estabelecidos pela ONU**. 2023. 129 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais (2021). **Inventário de Gases de Efeito Estufa 2020: inventário corporativo de emissões GEE da CEMIG em 2020**. MG: Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/04/inventario-gases-efeito-estufa-2020.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Simulador de Consumo**. Belo Horizonte: CEMIG. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/SimuladorDeConsumo/Cemig%20-%20Estime%20seu%20Consumo2.html>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CRUZ-CÁRDENAS, J.; PARRA-DOMÍNGUEZ, J. **Organizational Culture and Sustainability in the Context of Higher Education Institutions: A Bibliometric Study**. In: Mehmood, R., *et al.* Distributed Computing and Artificial Intelligence, Special Sessions I, 20th International Conference. DCAI. **Lecture Notes in Networks and Systems**, vol 741. Springer, Cham. 2023 https://doi.org/10.1007/978-3-031-38318-2_12

DA SILVA, I. F. B., *et al.* **Utilização do sistema fotovoltaico na geração de energia elétrica com a finalidade de analisar viabilidade para a iluminação do IFCE–Campus Cedro**. In: VII CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luís-MA, 2012.

DAZCAL, R. G.; MELLO JÚNIOR, A. G. **Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie**. Abenge – Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza. 2008.

FRANÇA, P. T. B.; CERVANTES, A. L.; AGUEDO, R. B. **Estudo de implementação de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica no campus UFRPE**. UACSA. 12th Seminar on Power Electronics and Control, RN: Natal. 2019

Google Earth. Mountain View, Califórnia, EUA: Google Inc., 2020.

KRASNHAK, L.B. *et al.* Analysis of Production and Consumption of Electric Energy in the Green Office of UTFPR in Curitiba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. SPE. 2018.

MAHN, D. *et al.* What drives solar energy adoption in developing countries? Evidence from household surveys across countries. **Energy Economics**, v. 138, p. 107815. 2024. DOI 10.1016/j.eneco.2024.107815

NUNES, N. M. S.; BRAGA, A. C. S.; REIS, D. S. N. **Sustentabilidade: a energia solar como fonte alternativa renovável para o desenvolvimento econômico e social**. XXXII Congresso de la Asociación Latinoamericana de Sociología, Lima. 2019.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos**. Conjuntura e Planejamento. V.149, p4-11, 2006.

QUEIROZ, A. M. O.; MONTEIRO SOBRINHO, F. M. **Estudo da viabilidade da implementação de painéis fotovoltaicos conectados à rede na central de aulas cinco da UFERSA – Campus Mossoró**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semiárido. 2019.

- RIEG, N. A.; GATERSLEBEN, B.; CHRISTIE, I. Organizational Change Management for Sustainability in Higher Education Institutions: a systematic quantitative literature review. **Sustainability**. 13, 7299. 2021. <https://doi.org/10.3390/su13137299>
- ROCHA, M. A. M. **Tecnologias de Geração de Energia Solar**. Relatório de Estágio no âmbito do Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente. Porto, 2015.
- SARRUF, G. A.; PIGA, L P. R. Viabilidade da Energia Solar na UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente**. On-Line, v. 2, n. 2, 2006.
- SILVA, J. S.; FERREIRA, A. H. R.; ZUKOWSKI JÚNIOR, J. C. Estudo de viabilidade econômica de Microgeração de energia solar integrada à rede na UFT Campus Gurupi-TO. **Revista Cereus**, v. 9, n. 1, p. 88-105. 2017.
- SketchUp**. Westminster, Colorado, EUA: Trimble, 2020.
- SOLAR LIVRE. **Simulador Solar**. 2020. Disponível em: <https://www.solarlivre.com.br/simulador-solar>. Acesso em: 25 de maio de 2020.
- VIAN, A. **Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2021. E-book. p.70. ISBN 9786555500592.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2015). **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: Nações Unidas. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: [inserir data de acesso].
- WORLD BANK (2019). Energy Sector Management Assistance Program. **Mini Grids for Half a Billion People**: Market Outlook and Handbook for Decision Makers - Executive Summary. ESMAP Technical Report; 014/19. Washington, D.C.: World Bank. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/31926>. Acesso em: 30 set. 2025.

CAPÍTULO III

ANÁLISE DAS CISTERNAS ATIVAS NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: DINÂMICA GEOESPACIAL ENTRE RECURSOS NATURAIS E ASPECTOS SOCIOPOLÍTICOS

ANALYSIS OF ACTIVE CISTERNAS IN THE PIAUÍ SEMIARID: GEOSPATIAL DYNAMICS BETWEEN NATURAL RESOURCES AND SOCIOPOLITICAL ASPECTS

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-3

Leonardo Ferreira da Costa¹
Sandra Regina Pereira Cruz²
Allex Denzell da Silva Abreu³
Geovana Maria Barbosa de Paiva⁴
Francilene da Silva Abreu⁵
Bruna Silveira Lira⁶
Thaís Yumi Shinya⁷

¹ Mestrando no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA (UFPI). *Latu sensu* em Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável (FAVENI). Biólogo (UESPI)

² Mestranda no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA (UFPI). *Latu sensu* em Docência dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental (UFPI). Geógrafa (UFPI)

³ Mestrando no Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA (UFPI). *Latu sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos (IFRO) e Ensino de Biociências (IFNMG). Biólogo (UESPI)

⁴ Mestranda no Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA (UFPI). Gestora Ambiental (IFPI). Técnica em Nutrição e Dietética (IFPI)

⁵ Mestra em Antropologia (UFPI). *Latu sensu* em Gestão de Pessoas (IFPI) e Ensino de Sociologia (UESPI). Graduada em Administração (FACET) e Gestão de Recursos Humanos Estratégicos (AESPI). Graduada em Sociologia (UNIFAHE)

⁶ Doutora em Engenharia Civil e Ambiental (UFCEG). Docente no curso de Engenharia Civil e no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA (UFPI)

⁷ Doutora em Microbiologia (UNESP). Docente no curso de Ciências Biológicas e no Mestrado Profissional em Ensino de Biologia - PROFBIO (UESPI).

RESUMO

Este estudo realizou um levantamento e mapeamento das cisternas ativas no estado do Piauí, com o objetivo de entender sua distribuição e quantidade em áreas de clima semiárido. A pesquisa utilizou dados secundários fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizando o QGIS para criar mapas e analisar como as cisternas ajudam a garantir o acesso à água nas regiões mais afetadas pela seca, na região semiárida do Piauí. Os resultados mostram que o semiárido piauiense abrange 216 dos 224 municípios existentes no estado e que há a predominância de 59.227 cisternas ativas distribuídas em 118 municípios. Além disso, a distribuição das cisternas é considerada desigual entre os territórios municipais do Piauí. O Indicador de Cobertura de Cisternas criado no estudo, mostra que 44

municípios (37,29%) estão em situação crítica quanto a cobertura dessas fontes de armazenamento de água. Nenhum município atingiu o ideal de 1 cisterna para cada 5 habitantes, mostrando que ainda há falhas no acesso ao recurso hídrico no semiárido piauiense. Conclui-se que o mapeamento é uma ferramenta que contribui para o planejamento de ações governamentais e para a gestão hídrica mais eficaz no estado.

Palavras-chave: Reservatórios de água. Recursos hídricos. Nordeste. Geotecnologias. Gestão sustentável.

ABSTRACT

This study conducted a survey and mapping of active cisterns in the state of Piauí, with the aim of understanding their distribution and quantity in semi-arid climate areas. The research used secondary data provided by the Brazilian Agricultural Research Corporation



(Embrapa), the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), using QGIS to create maps and analyze how cisterns help ensure access to water in the regions most affected by drought in the semi-arid region of Piauí. The results show that the semi-arid region of Piauí covers 216 of the 224 municipalities in the state and that there is a total of 59,227 active cisterns distributed across 118 municipalities. In addition, the distribution of cisterns is considered unequal among the municipal territories of Piauí. The Cistern Coverage Indicator created in the study shows that 44 municipalities

(37.29%) are in a critical situation regarding the coverage of these water storage sources. No municipality reached the ideal ratio of 1 cistern for every 5 inhabitants, showing that there are still gaps in access to water resources in the semi-arid region of Piauí. It is concluded that mapping is a tool that contributes to the planning of government actions and to more effective water management in the state.

Keywords: Water reservoirs. Water resources. Northeast Brazil. Geotechnologies. Sustainable management.

1. INTRODUÇÃO

A região semiárida do Brasil enfrenta uma grave falta de água, causada por fatores climáticos, problemas de infraestrutura, questões socioeconômicas e políticas. De acordo com o Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), esta área se estende por nove estados da região Nordeste e parte do norte de Minas Gerais. No total, ocupa 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes divididos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%), sendo, portanto, um dos semiáridos mais povoados do mundo (IBGE, 2022; INSA, 2024). O clima caracteriza por ser quente e seco, com uma probabilidade de ocorrência de seca superior a 60%, ocorrendo de forma cíclica. Por outro lado, as chuvas são irregulares e, junto com a alta evaporação, a água disponível não é bem distribuída, o que agrava a falta de água na região, especialmente por conta da ausência de armazenamento adequado (Arsky, 2020; INSA, 2024).

Consequentemente, no Brasil, diversas políticas públicas foram implementadas direcionadas à segurança hídrica, consolidando programas que, ao longo das últimas décadas, alternaram entre iniciativas temporárias ou ações atuais que permanecem ativas. Estes projetos visam garantir o acesso à água favorecendo a gestão e regulação hídrica, tanto para o consumo humano quanto para o suporte à produção agropecuária familiar, especialmente em regiões de vulnerabilidade do semiárido. Destacam-se os programas desenvolvidos pela Articulação Semiárido Brasileiro (ASA) em parceria com o Governo Federal Brasileiro, por meio do antigo Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), que foram elaborado de modo a alcançar as atuais metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) (2000), o Programa Cisternas (2003), o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) (2007), o Programa Cisternas nas Escolas (2010), e o Programa Água para Todos (2011), somando milhares de cisternas distribuídas ao longo do tempo.

Nesse contexto, o estado do Piauí está inserido nessa região de clima semiárido (Silva *et al.*, 2013), por esse fator, esta porção geográfica torna-se dependente de estratégias e instrumentos para o acesso a longo prazo do recurso hídrico. Diante dessa realidade, as cisternas passam a ser consideradas uma das fontes alternativas de água, garantindo acesso confiável a este recurso, aumentando a resiliência das comunidades inseridas nessas realidades (Da Silva Neto; Silva, 2018). As cisternas reduzem em até 90% o tempo gasto na coleta de água da chuva, com o uso para o consumo humano, para os animais e para a produção de alimentos, aproveitando o potencial hídrico da região durante a precipitação (Gomes; Helles, 2016; Carvalho, 2016; De Oliveira Marinho *et al.*, 2019). Esse meio alternativo de acesso à água contribui para a saúde das famílias nessas regiões e ajuda a manter a população rural (Barros *et al.*, 2013), sendo uma estratégia relevante para sobrevivência e produção no sertão durante períodos longos de estiagem (De Paula; De Alcantara, 2023).

Nessa conjuntura, o mapeamento de cisternas ativas no semiárido piauiense é relevante para entender a distribuição e acessibilidade da água na região. Estudos mostram que um mapeamento sistemático dessas fontes alternativas de água fornece informações para a gestão de recursos hídricos, melhorando a qualidade de vida das comunidades (Sobrinho, 2020; Brito *et al.*, 2023). Com uma análise precisa desses reservatórios de água no Piauí, pesquisadores, órgãos competentes, e formuladores de políticas públicas podem compreender aspectos variados acerca da distribuição desse recurso, identificar lacunas na infraestrutura e desenvolver estratégias eficazes para a gestão hídrica em áreas com escassez no estado.

A análise da distribuição de cisternas ativas pode ser feita com uso de diferentes *softwares* de sistemas de informações geográficas (SIG), como o QGIS. Sua eficácia no mapeamento hidrológico e ambiental é bem documentada em estudos científicos (Silva Júnior; Moraes; Lira, 2024). Entre suas principais capacidades, destacam-se: visualização abrangente de fenômenos geográficos, integração de diferentes formatos de dados geoespaciais, sendo uma plataforma gratuita e de código aberto com ferramentas robustas (QGIS, 2025). A partir disso, com o auxílio desse *software*, torna-se possível a compreensão do manejo das cisternas e como os aspectos climatológicos influenciam em sua distribuição, para que intervenções sejam elaboradas e executadas, a fim de assegurar o abastecimento de água para as comunidades mais vulneráveis de acesso restrito.

Nesse contexto, a referida pesquisa propõe uma análise, levantamento e mapeamento das cisternas ativas no estado do Piauí, relacionando sua distribuição espacial com as condições climáticas e sociopolíticas, utilizando o *software* QGIS como ferramenta de análise geoespacial e aliados a dados de órgãos governamentais.

Ao realizar esta investigação, o estudo contribui diretamente para três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: a ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ao analisar estruturas que garantem acesso à água; a ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao apoiar o planejamento territorial em regiões vulneráveis; e a ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao considerar o impacto do clima semiárido na segurança hídrica (Nações Unidas, 2015). Dessa forma, a pesquisa reforça a importância das cisternas como solução social e ambiental para convivência com o semiárido e para a construção de políticas públicas mais eficientes em relação a gestão dos recursos hídricos no estado.

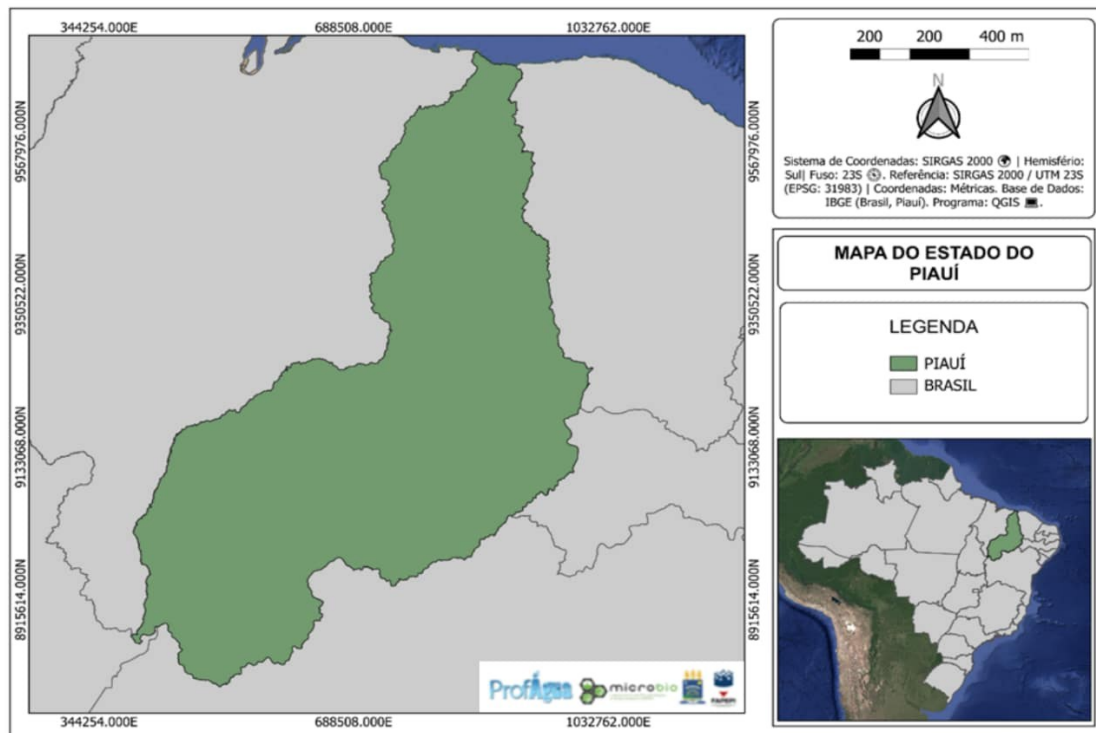
2. METODOLOGIA

2.1. LOCAL DO ESTUDO

O estudo abrange o estado do Piauí (Figura 1), situado na região Nordeste do Brasil, que possui uma área de 251.755,499 km² e é composto por 224 municípios. Segundo os dados do último censo do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE), a população do estado é de 3.271.199 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 12,99 habitantes por km² (IBGE, 2022).

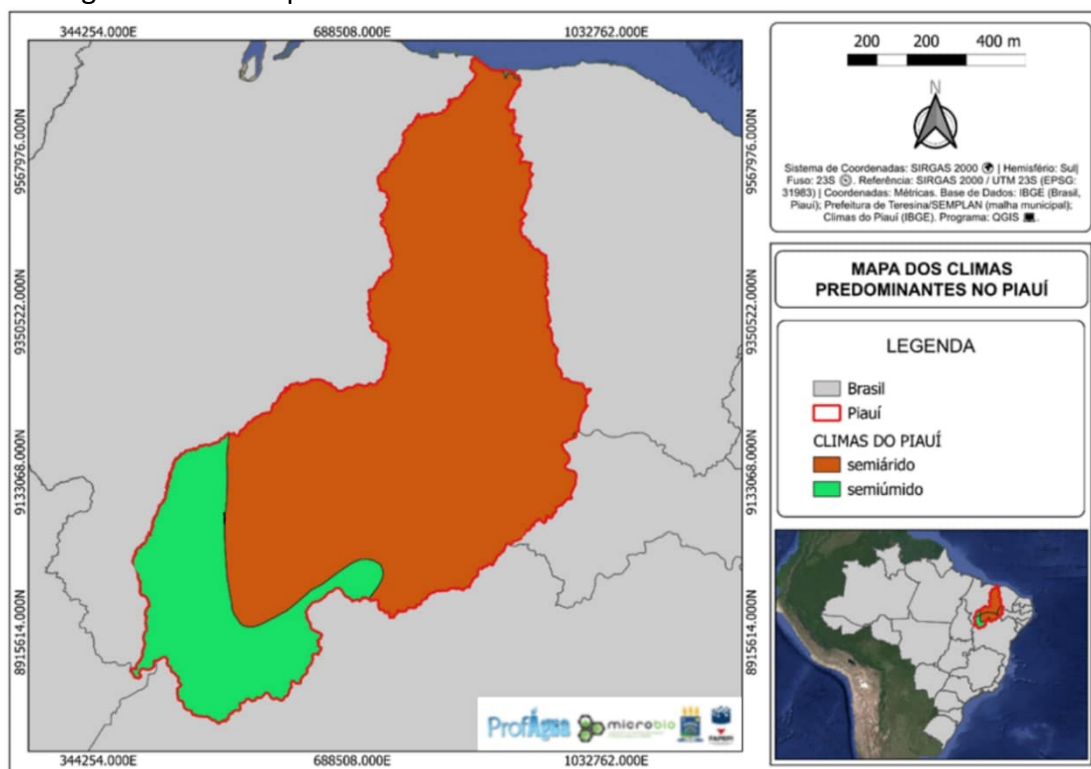
De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Silva *et al.* (2013), a região possui clima predominante semiárido, marcado por baixas taxas de precipitação e extensos períodos de seca, porém no sul e sudeste do estado, há regiões com clima semiúmido, recebendo um volume maior de chuvas durante o ano (Figura 2). Inserido na bacia do Rio Parnaíba (Figura 5 e 6), a população é predominantemente rural, sobretudo nas áreas interiores, onde as cisternas desempenham um papel crucial na adaptação ao clima (Figura 3).

Figura 1 – Localização do estado do Piauí



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – Climas predominantes no estado do Piauí: semiárido e semiúmido



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Visão geral de cisternas instaladas em área do semiárido piauiense.



Fonte: Autoria própria, (2025).

2.2. BASE DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo consistem em um compilado de informações secundárias, com o objetivo de gerar e discutir novos dados e planejamentos estratégicos. Esses dados foram obtidos a partir de um arquivo vetorial no formato *shapefile* fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), contendo informações atuais disponíveis sobre as cisternas ativas no semiárido brasileiro. Além disso, foram utilizadas informações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) sobre a distribuição dos recursos hídricos e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), acerca das extensões e divisões territoriais dos municípios, para a elaboração de mapas.

Utilizando de informações da Embrapa e IBGE, calculou-se a densidade de cisternas por área com a fórmula “Densidade = Quantidade/Extensão (Km²)”, para comparar diferentes áreas de forma estatística (Tabela 1). Adicionalmente, aderiu a fórmula para determinar a Densidade de cisternas por habitante (Tabela 4). A análise da densidade compreende uma ferramenta para análises de planejamento, alocação de recursos e compreensão da ocupação de cisternas e habitantes na região semiárida do Piauí.

Os arquivos disponibilizados pela Embrapa, ANA e IBGE foram baixados e importados para o *QGIS*, onde com uma filtragem do material realizou-se um recorte geográfico para obtenção dos municípios do semiárido piauiense que possuem cisternas ativas, bem como a bacia do Rio Parnaíba e sua rede hidrográfica. Esses dados incluem: municípios com cisternas

ativas, número de cisternas por município, informações geográficas, hídricas e climáticas, que indicam que todas as cidades mapeadas dentro do estado do Piauí estão situadas em áreas de clima semiárido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa utilizou dados públicos da Embrapa sobre cisternas ativas e informações de área geográficas e populacionais do IBGE, da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) referentes ao semiárido do Piauí (IBGE, 2024; BRASIL, 2024; ASA, 2024). Os dados mostram que, dos 224 municípios do estado, 216 (96,43%) estão localizados na região semiárida, cobrindo 91,8% do território, com 3,2 milhões de habitantes, tornando o Piauí o terceiro maior estado semiárido do Brasil.

No Piauí, 118 municípios, (54,63%), possuem cisternas ativas, totalizando 59.227 unidades, com variação entre 3 a 2.039 cisternas por município. Desses, 14 municípios, possuem mais de 1.000 cisternas cada, somando 20.243 cisternas. O grupo de municípios com entre 500 e 999 cisternas totalizou 26.836 unidades em 36 municípios. Já os 41 municípios com entre 100 e 499 cisternas concentraram 11.237 unidades, e, finalmente, os 27 municípios com menos de 100 cisternas somaram 911 unidades (Tabela 1). Com base nessas informações, o mapa temático elaborado no *QGIS* ilustra os municípios com distribuição de cisternas, bacia e rede hidrográfica no estado do Piauí, destacando as regiões semiáridas com reservatórios ativos (Figura 4).

Tabela 1 - Municípios do Piauí com cisternas ativas no semiárido piauiense: Quantidade, extensão territorial e densidade por município

| NOME DO MUNICÍPIO | QUANTIDADE DE CISTERNAS | EXTENSÃO TERRITORIAL (km ²) | DENSIDADE DE CISTERNAS (Cisternas/km ²) |
|---------------------|-------------------------|---|---|
| PAULISTANA | 2039 | 1.941,111 | 1,050 |
| PEDRO II | 1958 | 1.544,409 | 1,268 |
| PIO IX | 1651 | 1.948,142 | 0,847 |
| PIRACURUCA | 1644 | 2.368,936 | 0,694 |
| SÃO RAIMUNDO NONATO | 1607 | 2.415,288 | 0,665 |
| SIMÕES | 1534 | 251,529 | 6,098 |
| QUEIMADA NOVA | 1493 | 1.283,369 | 1,163 |
| JAICÓS | 1383 | 866,788 | 1,596 |
| OEIRAS | 1370 | 3.852,291 | 0,356 |
| CASTELO DO PIAUÍ | 1329 | 2.378,847 | 0,559 |

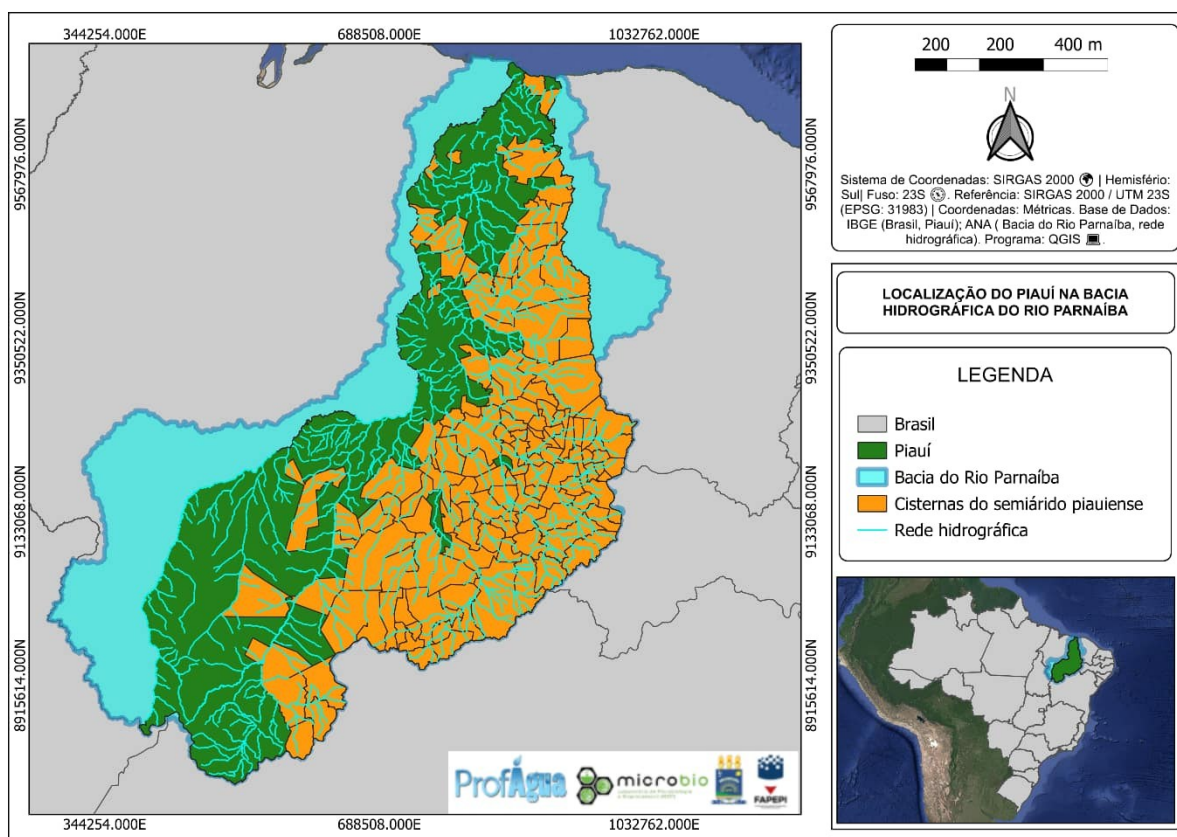
| NOME DO MUNICÍPIO | QUANTIDADE DE CISTERNAS | EXTENSÃO TERRITORIAL (km ²) | DENSIDADE DE CISTERNAS (Cisternas/km ²) |
|---------------------------------|-------------------------|---|---|
| CARACOL | 1224 | 1.610,959 | 0,76 |
| BETÂNIA DO PIAUÍ | 1115 | 579,576 | 1,924 |
| AVELINO LOPES | 1105 | 1.220,371 | 0,905 |
| MONSENHOR HIPOLITO | 1030 | 401,568 | 2,565 |
| ACAUÃ | 988 | 1.280,838 | 0,771 |
| CURIMATÁ | 982 | 2.344,949 | 0,419 |
| ALAGOINHA DO PIAUÍ | 934 | 532,980 | 1,752 |
| PADRE MARCOS | 933 | 278,696 | 3,348 |
| MASSAPÊ DO PIAUÍ | 883 | 530,169 | 1,666 |
| CAMPINAS DO PIAUÍ | 881 | 783,843 | 1,124 |
| JUREMA | 872 | 1.271,881 | 0,686 |
| JACOBINA DO PIAUÍ | 829 | 1.333,796 | 0,622 |
| MORRO CABEÇA NO TEMPO | 806 | 2.207,658 | 0,365 |
| CANTO DO BURITI | 801 | 4.325,643 | 0,185 |
| DIRCEU ARCOVERDE | 772 | 1.005,571 | 0,768 |
| VÁRZEA BRANCA | 764 | 450,429 | 1,696 |
| FRONTEIRAS | 745 | 777,179 | 0,959 |
| CAMPO ALEGRE DO FIDALGO | 725 | 657,796 | 1,102 |
| CAMPO GRANDE DO PIAUÍ | 712 | 311,682 | 2,284 |
| LAGOA DO BARRO DO PIAUÍ | 710 | 1.331,025 | 0,533 |
| ITAINÓPOLIS | 690 | 827,620 | 0,834 |
| SIMPLÍCIO MENDES | 676 | 1.360,028 | 0,497 |
| CARIDADE DO PIAUÍ | 657 | 498,793 | 1,317 |
| ASSUNÇÃO DO PIAUÍ | 646 | 1.690,703 | 0,382 |
| DOM INOCÊNCIO | 643 | 3.871,824 | 0,166 |
| PIMENTEIRAS | 633 | 4.562,580 | 0,139 |
| ISAÍAS COELHO | 615 | 800,688 | 0,768 |
| SÃO MIGUEL DO TAPUIO | 590 | 4.988,973 | 0,118 |
| FARTURA DO PIAUÍ | 581 | 713,046 | 0,815 |
| CALDEIRÃO GRANDE DO PIAUÍ | 575 | 467,082 | 1,231 |
| DOMINGOS MOURÃO | 567 | 848,705 | 0,668 |
| CURRAL NOVO DO PIAUÍ | 564 | 755,251 | 0,747 |
| SÃO BRAZ DO PIAUÍ | 558 | 656,042 | 0,851 |
| ANÍSIO DE ABREU | 549 | 337,877 | 1,625 |
| LAGOA DE SÃO FRANCISCO | 549 | 155,860 | 3,522 |
| MILTON BRANDÃO | 546 | 1.309,128 | 0,417 |
| SÃO FRANCISCO DE ASSIS DO PIAUÍ | 537 | 1.072,311 | 0,501 |
| CAPITÃO GERVÁSIO OLIVEIRA | 531 | 1.132,995 | 0,469 |
| BONFIM DO PIAUÍ | 521 | 289,149 | 1,802 |
| SÃO LOURENÇO DO PIAUÍ | 502 | 673,822 | 0,745 |
| FRANCISCO SANTOS | 496 | 492,191 | 1,008 |
| SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ | 496 | 1.341,451 | 0,37 |

| NOME DO MUNICÍPIO | QUANTIDADE DE CISTERNAS | EXTENSÃO TERRITORIAL (km ²) | DENSIDADE DE CISTERNAS (Cisternas/km ²) |
|-------------------------|-------------------------|---|---|
| SÃO JOSÉ DO DIVINO | 460 | 319,367 | 1,440 |
| VERA MENDES | 457 | 341,974 | 1,336 |
| BELÉM DO PIAUÍ | 432 | 243,234 | 1,776 |
| VILA NOVA DO PIAUÍ | 419 | 221,627 | 1,890 |
| NOVA SANTA RITA | 405 | 909,734 | 0,445 |
| JUAZEIRO DO PIAUÍ | 404 | 935,404 | 0,432 |
| FRANCISCO MACEDO | 399 | 179,245 | 2,226 |
| SÃO JOÃO DA FRONTEIRA | 366 | 817,111 | 0,448 |
| GUARIBAS | 351 | 3.118,231 | 0,113 |
| ITAUEIRA | 351 | 2.554,179 | 0,137 |
| SÃO JOÃO DA SERRA | 344 | 994,224 | 0,346 |
| INHUMA | 341 | 978,222 | 0,349 |
| JOÃO COSTA | 339 | 1.800,230 | 0,188 |
| BURITI DOS MONTES | 338 | 2.437,329 | 0,139 |
| CORONEL JOSÉ DIAS | 334 | 1.926,103 | 0,173 |
| JÚLIO BORGES | 333 | 1.283,916 | 0,26 |
| PATOS DO PIAUÍ | 332 | 801,403 | 0,414 |
| ALEGRETE DO PIAUÍ | 325 | 243,732 | 1,333 |
| COLÔNIA DO PIAUÍ | 319 | 950,193 | 0,336 |
| PICOS | 316 | 577,284 | 0,547 |
| SÃO JOÃO DO PIAUÍ | 316 | 1.527,497 | 0,207 |
| BELA VISTA DO PIAUÍ | 314 | 499,092 | 0,629 |
| SÃO JULIÃO | 293 | 291,089 | 1,007 |
| CONCEIÇÃO DO CANINDÉ | 273 | 824,729 | 0,331 |
| SÃO JOÃO DA VARJOTA | 250 | 394,456 | 0,634 |
| FLORESTA DO PIAUÍ | 241 | 223,199 | 1,080 |
| RIO GRANDE DO PIAUÍ | 202 | 635,953 | 0,318 |
| MARCOLÂNDIA | 192 | 136,786 | 1,404 |
| SÃO JOSÉ DO PIAUÍ | 184 | 373,347 | 0,493 |
| BREJO DO PIAUÍ | 179 | 2.267,326 | 0,079 |
| PAQUETÃO | 151 | 432,572 | 0,349 |
| NOVO ORIENTE DO PIAUÍ | 142 | 525,906 | 0,27 |
| SANTA CRUZ DO PIAUÍ | 138 | 582,658 | 0,237 |
| SANTO ANTÔNIO DE LISBOA | 138 | 385,286 | 0,358 |
| VALENÇA DO PIAUÍ | 130 | 1.333,722 | 0,097 |
| PAES LANDIM | 118 | 401,378 | 0,294 |
| IPIRANGA DO PIAUÍ | 114 | 529,417 | 0,215 |
| SÃO JOÃO DA CANABRAVA | 113 | 480,537 | 0,235 |
| SANTANA DO PIAUÍ | 109 | 112,189 | 0,972 |
| FLORES DO PIAUÍ | 97 | 946,719 | 0,102 |
| SÃO JOSÉ DO PEIXE | 97 | 1.287,174 | 0,075 |
| TANQUE DO PIAUÍ | 95 | 398,007 | 0,239 |

| NOME DO MUNICÍPIO | QUANTIDADE DE CISTERNAS | EXTENSÃO TERRITORIAL (km ²) | DENSIDADE DE CISTERNAS (Cisternas/km ²) |
|-----------------------|-------------------------|---|---|
| TAMBORIL DO PIAUÍ | 82 | 1.587,296 | 0,052 |
| SANTA ROSA DO PIAUÍ | 74 | 338,336 | 0,219 |
| LAGOA DO SÍTIO | 73 | 805,018 | 0,091 |
| PEDRO LAURENTINO | 69 | 870,613 | 0,079 |
| DOM EXPEDITO LOPES | 67 | 218,808 | 0,306 |
| CAJAZEIRAS DO PIAUÍ | 66 | 514,106 | 0,128 |
| SANTO INÁCIO DO PIAUÍ | 57 | 852,106 | 0,067 |
| PAVUSSU | 56 | 1.090,697 | 0,051 |
| PAJEÚ DO PIAUÍ | 51 | 986,961 | 0,052 |
| SEBASTIÃO LEAL | 51 | 3.148,857 | 0,016 |
| SÃO MIGUEL DO FIDALGO | 42 | 813,444 | 0,052 |
| GEMINIANO | 37 | 404,606 | 0,091 |
| REDENÇÃO DO GURGUEIA | 30 | 2.470,531 | 0,012 |
| SÃO LUIS DO PIAUÍ | 29 | 217,924 | 0,133 |
| NAZARÉ DO PIAUÍ | 23 | 1.315,841 | 0,017 |
| CRISTINO CASTRO | 21 | 1.845,697 | 0,011 |
| SOCORRO DO PIAUÍ | 21 | 761,854 | 0,028 |
| COLÔNIA DO GURGEIA | 20 | 1.318,263 | 0,015 |
| CURRAIS | 20 | 3.156,657 | 0,006 |
| BOCAINA | 11 | 261,651 | 0,042 |
| ELISEU MARTINS | 8 | 1.097,790 | 0,007 |
| SUSSUAPARA | 5 | 205,194 | 0,024 |
| AROEIRAS DO ITAIM | 4 | 316,235 | 0,013 |
| AROAZES | 3 | 821,212 | 0,004 |

Fonte: Autoria própria.

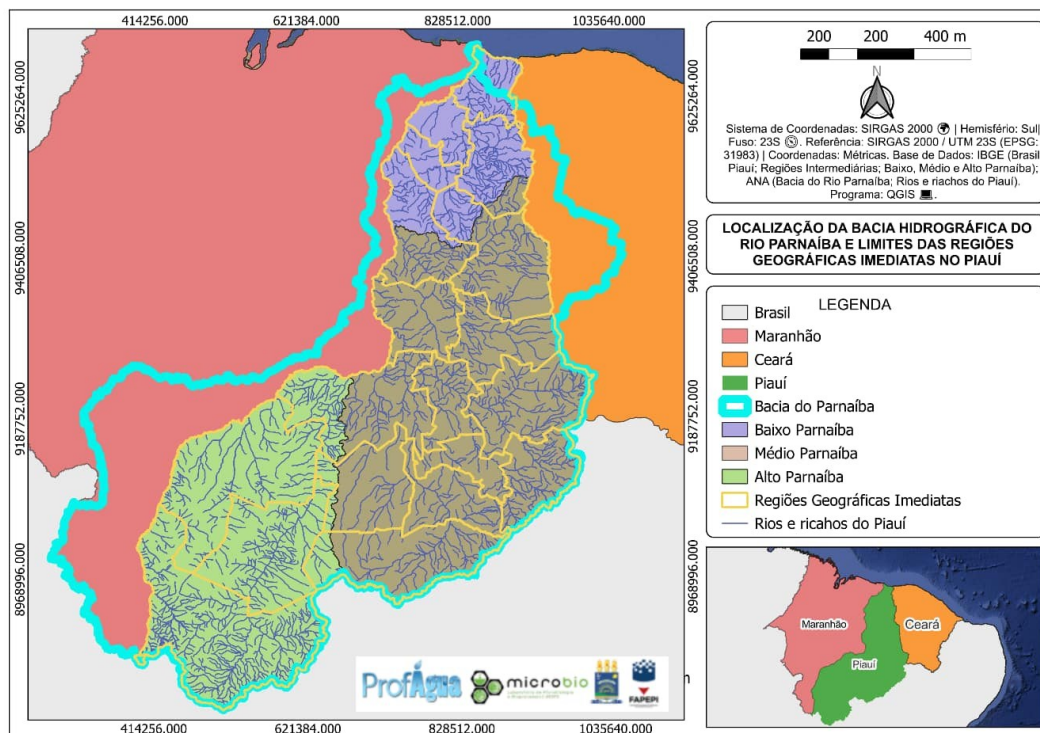
Figura 4 – Municípios do semiárido piauiense com cisternas ativas e em funcionamento



Fonte: Autoria própria.

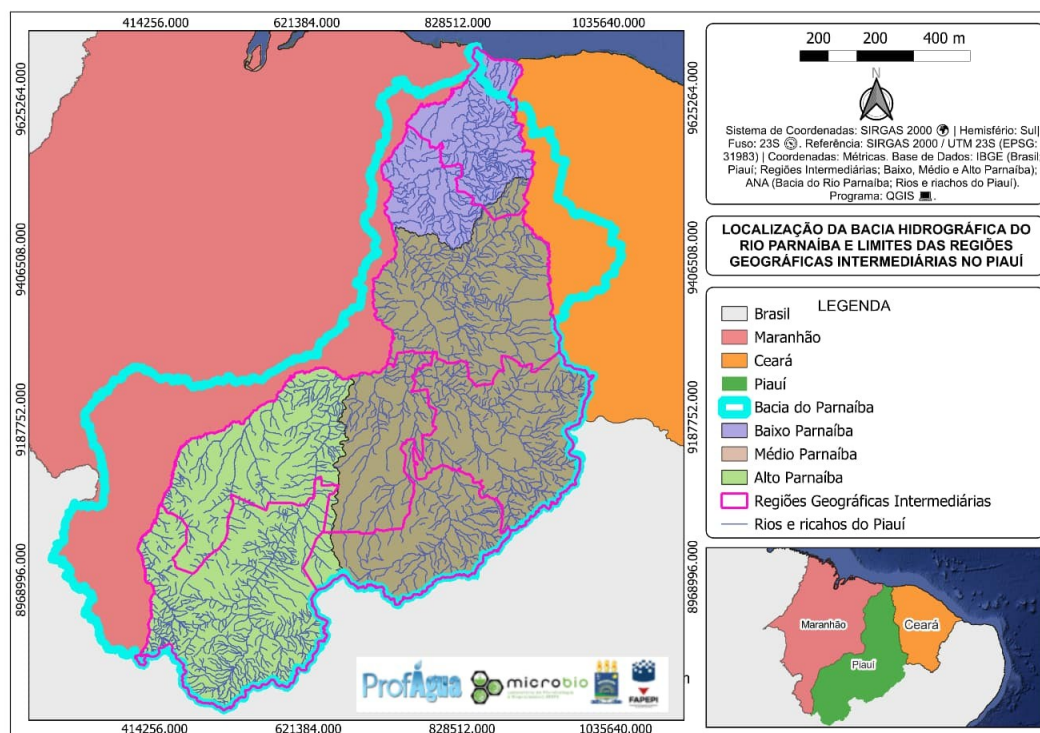
A bacia hidrográfica do Rio Parnaíba abrange uma área total de aproximadamente 344.112 km², sendo que 5% concentra-se no Ceará, 20% no Maranhão e 75% dessa extensão está localizada no estado do Piauí (Águas do Brasil, 2020; Agência Gov, 2023), abrangendo aproximadamente 98% do território piauiense, incluindo todos os 216 municípios do semiárido. A referida bacia é drenada pelo maior rio perene genuinamente nordestino, o Parnaíba (Figura 5 e 6) (Brasil, 2020). Além disso, essa área de captação de água abrange 10 sub-bacias que levam o nome de seus principais cursos d'água. Entre os seus principais afluentes destacam-se: o rio Balsas, o rio Gurguéia, o rio Uruçuí Preto e o rio Poti (CBH, 2023), representado praticamente todo o território piauiense em suas três regiões: Alta, Médio e Baixo Parnaíba (Figura 5 e 6). O clima varia de quente e úmido no norte, quente e úmido com chuvas de verão tropical no centro-sul e sudeste, e semiárido no leste e sudeste, determinando assim a geografia da escassez e abundância hídrica no território piauiense por sazonalidade (SGB, 2017; Água do Brasil, 2020).

Figura 5 – Localização do estado do Piauí inserido na Bacia do Rio Parnaíba e Regiões Geográficas Imediatas



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Localização do estado do Piauí inserido na Bacia do Rio Parnaíba e Regiões Geográficas Intermediárias



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a antiga divisão do IBGE, o Sudeste Piauiense era integrado por três microrregiões (Alto Médio Canindé, Picos e Pio IX) agrupando 66 municípios, área que historicamente registra as maiores dificuldades de abastecimento de água do estado. Já a região sudoeste, que incluía microrregiões como Alto Médio Gurgueia e Alto Parnaíba Piauiense, com 62 municípios, apresenta melhor situação hídrica devido aos aquíferos subterrâneos e aos rios perenes que drenam as chapadas (IBGE, 1990; IBGE, 2016).

Em 2017, o IBGE por intermédio de órgãos de planejamento estaduais com a Associação Nacional das Instituições de Planejamento, Pesquisa e Estatística (ANIPES), substituiu a divisão regional brasileira, com as antigas mesorregiões e microrregiões por Regiões Geográficas Intermediárias e Regiões Geográficas Imediatas, respectivamente. No Piauí, os 224 municípios passaram a estar distribuídos em 19 Regiões Geográficas Imediatas e 6 Regiões Geográficas Intermediárias (Teresina, Parnaíba, Picos, São Raimundo Nonato, Corrente-Bom Jesus e Floriano) (IBGE, 2017). Esta divisão representa as transformações socioespaciais ocorridas no território ao longo das últimas três décadas e utiliza critérios como análise dos centros urbanos, fluxos de gestão pública e dos recursos naturais que delimitam o uso nas regiões, a exemplo, o manejo hídrico no estado.

A distribuição dos corpos hídricos na bacia é marcadamente desigual, com maior concentração de água na região do Alto Parnaíba, em específico na sub-bacia do Alto Parnaíba e Uruçuí-Preto. Segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), define que a região concentra os afluentes com maior contribuição hídrica, como o rio Balsas pela margem esquerda e os rios Gurgueia e Uruçuí-Preto, alimentados tanto por águas superficiais quanto subterrâneas. A concentração de água no Alto Parnaíba também se deve à presença do Aquífero Maranhão no subsolo da região, que representa um dos maiores potenciais hídricos do Nordeste, sendo particularmente abundante no vale do Gurgueia, no sul do Piauí (Correia Filho *et al.*, 2011; Carneiro Feitosa *et al.*, 2012).

Em contraste, A região do Canindé-PI, que faz parte do Médio Parnaíba, possui os maiores déficits de água da bacia, pois seus rios (Canindé, Piauí e Poti) se localizam na margem direita do Rio Parnaíba e têm água irregular, secando na estiagem. Suas nascentes estão no semiárido e em rochas antigas, o que, associado com o clima e o relevo local, explica a diferença de disponibilidade de água em relação ao Alto Parnaíba, que concentra mais água devido ao Cerrado e às chapadas (SGB,2017; Codevasf, 2022).

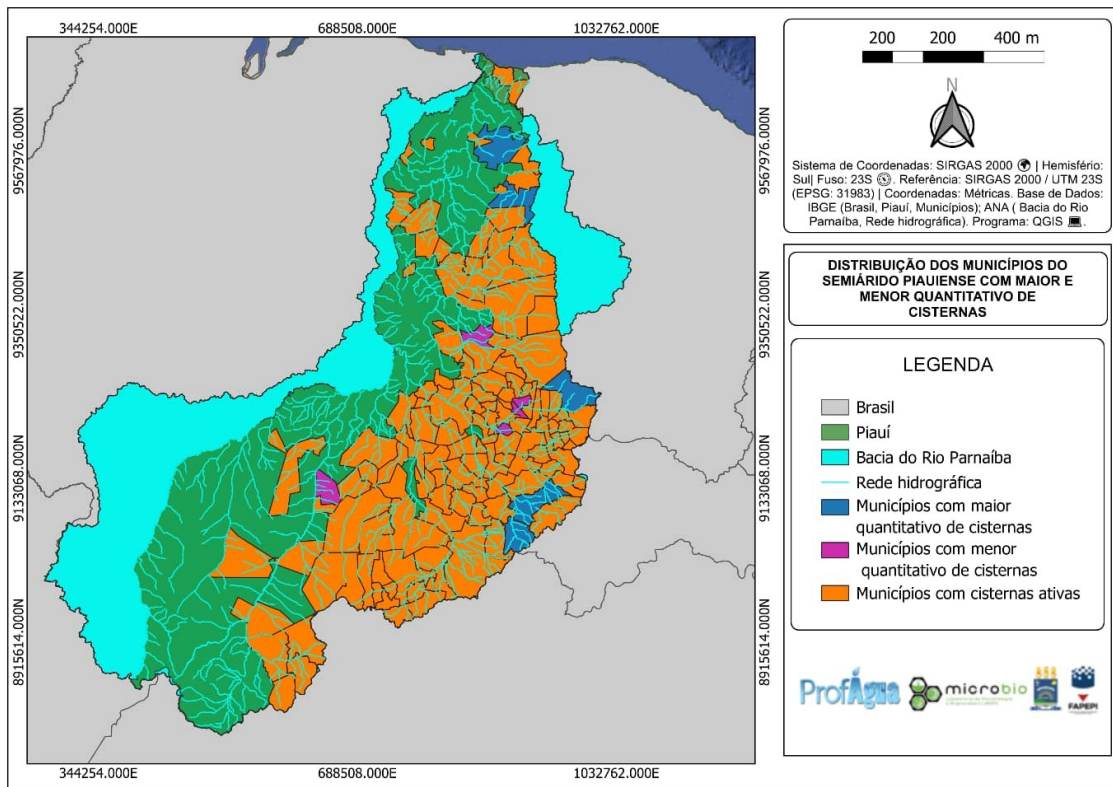
A relação entre a Bacia do Rio Parnaíba e as cisternas no Piauí é marcada pela oferta de água superficial e as tecnologias hídras desenvolvidas para convivência no Semiárido. Embora o Rio Parnaíba seja o principal eixo hídrico do estado, a vasta extensão territorial e o relevo do semiárido piauiense dificultam o acesso direto de populações rurais dispersas às margens dos rios e seus afluentes, que muitas vezes possuem caráter intermitente.

Os dados na Tabela 1 mostram que os municípios com o maior número de cisternas são: Paulistana (2.039), Pedro II (1.958), Pio IX (1.651), Piracuruca (1.644) e Queimada Nova (1.493). Esses municípios estão localizados em duas áreas principais, na parte superior do Piauí, na região Centro-Norte do semiárido piauiense, enquanto um segundo grupo de municípios está localizado mais a Leste e Sudeste, na área central do semiárido piauiense. Esses dados indicam que as regiões com maior número de cisternas são áreas prioritárias, devido à dificuldade de acesso à água superficial ou subterrânea.

Destacou-se que os menores municípios com cisternas ativas são Aroazes (3), Aroeiras do Itaim (4), Sussuapara (5), Eliseu Martins (8), Bocaina (11), e se concentram predominante na macrorregião Centro-Oeste, área próxima à rede hidrográfica de afluentes da bacia do Rio Parnaíba, além da região Sudoeste com o município de Eliseu Martins. O baixo quantitativo absoluto de cisternas pode ser um indicador de que as famílias rurais têm acesso mais eficiente à água subterrânea por meio de poços tubulares (poços artesianos ou semiartesianos) ou outras fontes, considerando que a distribuição e localização da rede hidrográfica variam (Figura 6).

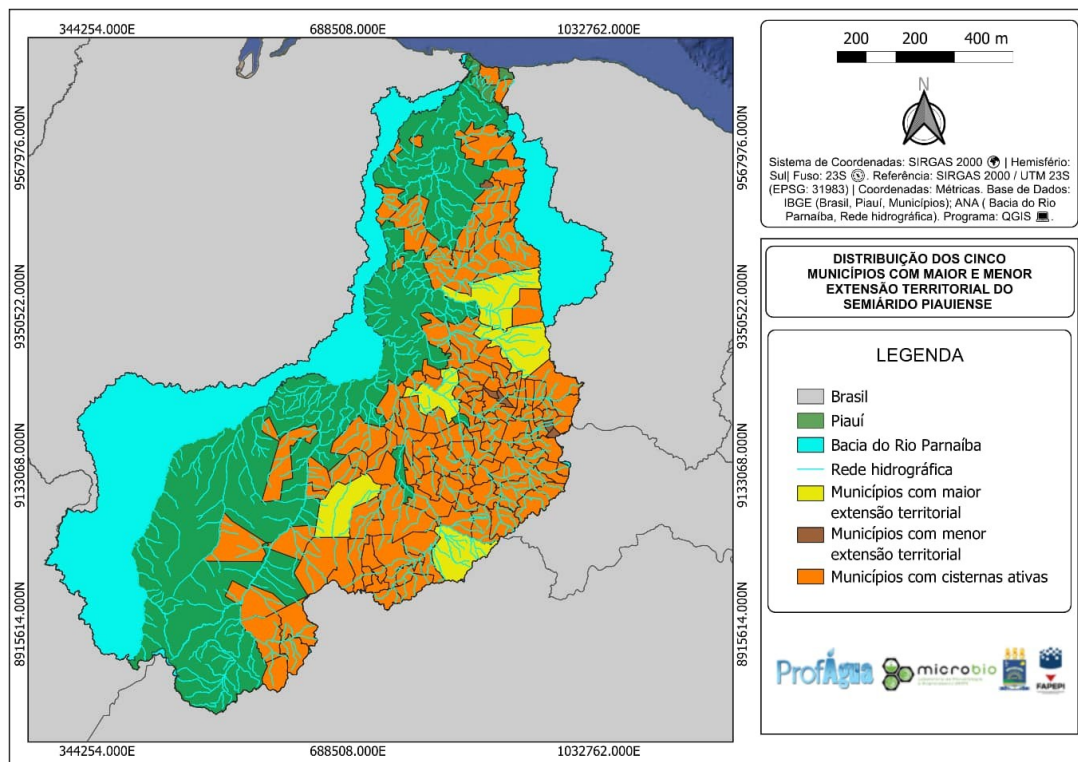
Nos aspectos de áreas, os cinco municípios com maior extensão territorial são: São Miguel do Tapuio (4.988,973 km²), Pimenteiras (4.562,580 km²), Canto do Buriti (4.325,643 km²), Dom Inocêncio (3.871,824 km²) e Oeiras (3.852,291 km²). Enquanto os menores municípios são Santana do Piauí (112,189 km²), Marcolândia (136,786 km²), Lagoa de São Francisco (155,860 km²), Francisco Macedo (179,245 km²) e Sussuapara (205,194 km²) (Figura 7).

Figura 6 – Distribuição dos municípios do semiárido piauiense com maior e menor quantitativo de cisternas



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 – Distribuição dos cinco municípios com maior e menor extensão territorial do semiárido piauiense

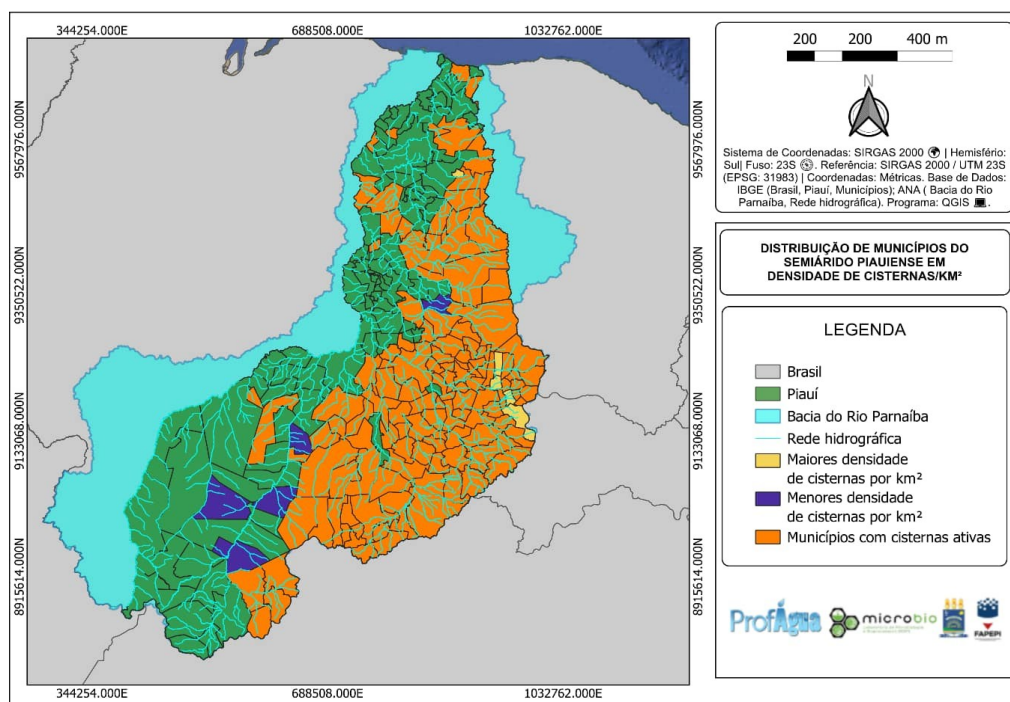


Fonte: Autoria própria.

Em relação à densidade de cisternas por área, os municípios com maior número de cisternas por km² são: Simões (6,098 cisternas/km²), Lagoa de São Francisco (3,522 cisternas/km²), Padre Marcos (3,348 cisternas/km²), Monsenhor Hipólito (2,565 cisternas/km²) e Campo Grande do Piauí (2,284 cisternas/km²). Por outro lado, os municípios com menor densidade de cisternas são: Arozés (0,004 cisternas/km²), Currais (0,006 cisternas/km²), Eliseu Martins (0,007 cisternas/km²), Cristino Castro (0,011 cisternas/km²) e Redenção do Gurgueia (0,012 cisternas/km²). As menores densidades se concentram em porções da região Oeste e Sudoeste da área mapeada do semiárido piauiense, e alguns núcleos menores dispersos no centro-sul. Já as maiores densidades predominam em grande parte da região central e leste, com destaque para quatro das cinco cidades com maior número de cisternas.

Em Pedro II, a maior densidade de cisternas (1,268 cisternas/km²) coincide com uma das maiores densidades populacionais (24,54 hab/km²) entre os municípios com cisternas ativas. Já em Piracuruca, embora o número absoluto de cisternas seja alto (1.644), a densidade é a menor (0,694 cisternas/km²). Isto demonstra que a distribuição das cisternas varia conforme a extensão territorial dos municípios, com regiões que possuem maiores ou menores concentração (Figura 8 e Tabela 2).

Figura 8 – Distribuição dos municípios do semiárido piauiense com maior e menor densidade de cisternas/km²



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Principais municípios do semiárido piauiense com maior e menor densidade de cisternas

| NOME DO MUNICÍPIO | QUANTIDADE DE CISTERNAS | EXTENSÃO TERRITORIAL (km ²) | DENSIDADE (Cisternas/km ²) | DENSIDADE POPULACIONAL (Habitantes/km ²) |
|-------------------|-------------------------|---|--|--|
| Pedro II | 1.958 | 1.544,409 | 1,268 | 24,54 |
| Queimada Nova | 1.493 | 1.283,369 | 1,163 | 6,81 |
| Paulistana | 2.039 | 1.941,111 | 1,050 | 10,85 |
| Pio IX | 1.651 | 1.948,142 | 0,847 | 9,04 |
| Piracuruca | 1.644 | 2.368,936 | 0,694 | 12,18 |
| Bocaina | 11 | 261,651 | 0,042 | 15,59 |
| Sussuapara | 5 | 205,194 | 0,024 | 30,31 |
| Aroeiras do Itaim | 4 | 316,235 | 0,013 | 8,51 |
| Eliseu Martins | 8 | 1.097,790 | 0,007 | 3,99 |
| Aroazes | 3 | 821,212 | 0,004 | 6,54 |

Fonte: Autoria própria.

O caso de Sussuapara e Bocaina ilustra um desalinhamento entre a necessidade populacional e a política de cisternas no semiárido piauiense. Sussuapara apresenta uma Densidade Populacional de 30,31 hab/km², sendo 94,4% maior que a de Bocaina (15,59 hab/km²), indicando uma demanda hídrica potencialmente mais concentrada. No entanto, Sussuapara registrou apenas 5 cisternas, resultando em uma Densidade de Cisternas de 0,024 cisterna/km², que é 42,86% menor que a de Bocaina (0,042 cisterna/km²). Enquanto, em Queimada Nova (6,81 hab/km²) e Aroazes (6,54 hab/km²), possuem densidade populacional aproximadas e uma grande discrepância na quantidade de cisternas, com Queimada Nova, sendo 498 vezes maior que Aroazes. Esse contraste sugere que, as populações de Sussuapara e Aroazes estão sendo atendida por outras soluções hídricas para suprir o *déficit* severo na região, a exemplos, poços tubulares ou sistemas de abastecimento que não as cisternas, exigindo investigação nestes aspectos.

A análise realizada por pesquisadores da Embrapa, evidenciam que uma família de 5 pessoas necessita de uma cisterna com capacidade para armazenar 16 mil litros (16 m³) para suportar um período de estiagem durante 8 meses para atender as necessidades básicas (Silva *et al.*, 1988; ASA, 2025). Desse modo, pode estabelecer o valor de referência relação de 1 cisterna/5 habitantes, esta correlação deve ser considerada uma variável fundamental como base para a classificação do grau de vulnerabilidade hídrica municipal no estado do Piauí, considerando a dependência das cisternas para o acesso à água na região semiárida.

A análise dos dados mostra que há uma relação entre o número de cisternas e o tamanho da população ao considerar o parâmetro de 200 cisternas/1000 hab, equivalente a 1 cisterna para cada 5 pessoas. Com base nesta referência para uma melhor compreensão, elaborou-se um “Indicador de Cobertura de Cisternas”, que classifica os municípios do Piauí de acordo com a densidade de cisternas. Os municípios são classificados com base no número de habitantes: Alta população (>10.000 habitantes) e Baixa população (<10.000 habitantes); e a cobertura de cisternas, divididos em três categorias com base na realidade do quantitativo de cisternas no estado: Alta cobertura (≥ 80 cisternas/1.000 habitantes); Cobertura média (40-79 cisternas/1.000 habitantes); Cobertura baixa (<40 cisternas/1.000 habitantes) (Tabela 3).

Tabela 3 – Indicador de Cobertura de Cisternas no semiárido piauiense

| CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA | DENSIDADE DE REFERÊNCIA | CARACTERIZAÇÃO |
|-----------------------|---------------------------------|---|
| Alta Cobertura | ≥ 80 cisternas / 1.000 hab | Municípios que possuem uma proporção próxima ou superior à 1 cisterna para 12,5 pessoas. Indicam políticas consolidadas e maior resiliência hídrica (o ideal seria 1 cisterna para cada 5 pessoas). |
| Cobertura Média | 40 – 79 cisternas / 1.000 hab | Cobertura parcial. Existe infraestrutura, mas é insuficiente para a demanda total. Vulneráveis em secas prolongadas. |
| Cobertura Baixa | < 40 cisternas / 1.000 hab | Situação crítica. <i>Déficit</i> acentuado de cisternas. Áreas prioritárias para investimentos emergenciais devido à alta vulnerabilidade. |

Fonte: Autoria própria.

Conforme o Indicador de Cobertura de Cisternas (Tabela 3), a classificação dos 118 municípios com cisternas ativas em relação à população resultou em 46 municípios (38,98%) com alta cobertura, 26 municípios (23,73%) com cobertura média e 44 municípios (37,29%) com cobertura baixa. Analisando por porte populacional, entre os municípios com mais de 10.000 habitantes, apenas 7 (30,46%) possuem alta cobertura, 9 (39,13%) apresentam cobertura média e 7 (30,46%) têm cobertura baixa, totalizando 23 municípios nesta categoria. Já entre os municípios com menos de 10.000 habitantes, 39 (41,05%) alcançaram alta cobertura, 19 (20,0%) têm cobertura média e 37 (38,95%) apresentam cobertura baixa, somando 95 municípios (Tabela 4).

Considerando o parâmetro de 1 cisterna para cada 5 pessoas (ou 200 cisternas/1000 hab), nenhum município piauiense alcança este padrão ideal de cobertura, desse modo, para qualificar a cobertura, utilizou-se a razão habitante/cisterna, indicando quantos moradores, em média, são atendidos por 1 cisterna no município (Tabela 4).

A cobertura acima de 80 cisternas/1000 hab já representa um avanço significativo em comparação à média estadual. Os dados revelam profunda desigualdade territorial: enquanto Jurema possui 197,0 cisternas/1000 hab (próximo ao ideal), referente a 1 cisterna para 5,07 pessoas, municípios como Aroazes e Sussuapara apresentam apenas 0,6 e 0,8 cisternas/1000 hab, que correspondem respectivamente a 1 cisterna para 1.789,67 hab e 1 cisterna para 1.250,00. Essa disparidade evidencia a necessidade de políticas públicas diferenciadas e prioritárias para as regiões com cobertura inferior de cisternas. Nesses locais, caso não exista outras fontes alternativas de acesso a água, a situação pode torna-se crítica, por conta do possível *déficit* desse recurso, especialmente nos 45 municípios classificados com cobertura baixa desse tipo de reservatório, onde vive população extremamente vulnerável às secas prolongadas do semiárido piauiense.

Tabela 4 - Classificação técnica da Densidade de Cisternas por habitantes nos municípios do semiárido piauiense

| ALTA POPULAÇÃO / ALTA COBERTURA (>10.000 hab e ≥80 cisternas/1000 hab) | | | |
|---|---|--|--|
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (X hab)/1 Cisternas) |
| Caracol | 10.326 hab / 1.224 cisternas | 118,5 | 8,4 |
| Simões | 14.344 hab / 1.534 cisternas | 106,9 | 9,3 |
| Avelino Lopes | 10.806 hab / 1.105 cisternas | 102,3 | 9,7 |
| Paulistana | 21.080 hab / 2.039 cisternas | 96,7 | 10,3 |
| Pio IX | 17.586 hab / 1.651 cisternas | 93,9 | 10,6 |
| Jaicós | 17.408 hab / 1.383 cisternas | 79,4* | 12,5 |
| ALTA POPULAÇÃO / COBERTURA MÉDIA (>10.000 hab e 40-79 cisternas/1000 hab) | | | |
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (1 Cisternas/X hab) |
| Fronteiras | 10.293 hab / 745 cisternas | 72,4 | 13,81 |
| Castelo do Piauí | 19.266 hab / 1.329 cisternas | 69,0 | 14,49 |
| Itainópolis | 10.614 hab / 690 cisternas | 65,0 | 15,38 |
| Piracuruca | 28.906 hab / 1.644 cisternas | 56,9 | 17,57 |
| Pimenteiras | 11.172 hab / 633 cisternas | 56,7 | 17,63 |

| | | | |
|---|---|--|---|
| Pedro II | 37.945 hab / 1.958 cisternas | 51,6 | 19,37 |
| Simplício Mendes | 13.842 hab / 676 cisternas | 48,8 | 20,49 |
| Canto do Buriti | 19.355 hab / 801 cisternas | 41,4 | 24,15 |
| São Raimundo Nonato | 39.036 hab / 1.607 cisternas | 41,2 | 24,27 |
| ALTA POPULAÇÃO / COBERTURA BAIXA (>10.000 hab e <40 cisternas/1000 hab) | | | |
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (1 Cisternas/X hab) |
| Oeiras | 38.192 hab / 1.370 cisternas | 35,9 | 27,85 |
| São Miguel do Tapuio | 17.544 hab / 590 cisternas | 33,6 | 29,76 |
| Inhuma | 14.803 hab / 341 cisternas | 23,0 | 43,47 |
| São João do Piauí | 21.506 hab / 316 cisternas | 14,7 | 68,02 |
| Valença do Piauí | 22.316 hab / 130 cisternas | 5,8 | 172,41 |
| Picos | 82.028 hab / 316 cisternas | 3,9 | 256,41 |
| Cristino Castro | 10.509 hab / 21 cisternas | 2,0 | 500,0 |
| BAIXA POPULAÇÃO / ALTA COBERTURA (<10.000 hab e ≥80 cisternas/1000 hab) | | | |
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (1 Cisternas/X hab) |
| Jurema | 4.426 hab / 872 cisternas | 197,0 | 5,07 |
| Morro Cabeça no Tempo | 4.361 hab / 806 cisternas | 184,8 | 5,41 |
| Betânia do Piauí | 6.222 hab / 1.115 cisternas | 179,2 | 5,58 |
| Campinas do Piauí | 4.948 hab / 881 cisternas | 178,0 | 5,61 |
| Queimada Nova | 8.734 hab / 1.493 cisternas | 170,9 | 5,85 |
| Massapê do Piauí | 5.233 hab / 883 cisternas | 168,7 | 5,92 |
| Campo Alegre do Fidalgo | 4.605 hab / 725 cisternas | 157,4 | 6,35 |
| Acauã | 6.422 hab / 988 cisternas | 153,8 | 6,50 |
| Vila Nova do Piauí | 2.764 hab / 419 cisternas | 151,6 | 6,59 |
| Várzea Branca | 5.055 hab / 764 cisternas | 151,1 | 6,61 |
| Vera Mendes | 3.084 hab / 457 cisternas | 148,2 | 6,74 |
| Jacobina do Piauí | 5.630 hab / 829 cisternas | 147,3 | 6,83 |
| Padre Marcos | 6.379 hab / 933 cisternas | 146,2 | 6,83 |
| Lagoa do Barro do Piauí | 4.997 hab / 710 cisternas | 142,1 | 7,03 |
| Domingos Mourão | 4.071 hab / 567 cisternas | 139,3 | 7,17 |
| Alagoinha do Piauí | 6.819 hab / 934 cisternas | 137,0 | 7,29 |
| Francisco Macedo | 2.921 hab / 399 cisternas | 136,6 | 7,32 |
| Monsenhor Hipólito | 7.550 hab / 1.030 cisternas | 136,4 | 7,33 |
| Capitão Gervásio Oliveira | 3.974 hab / 531 cisternas | 133,6 | 7,48 |
| Caridade do Piauí | 5.040 hab / 657 cisternas | 130,4 | 7,66 |
| São Braz do Piauí | 4.359 hab / 558 cisternas | 128,0 | 7,81 |
| Belém do Piauí | 3.425 hab / 432 cisternas | 126,1 | 7,93 |
| Campo Grande do Piauí | 6.011 hab / 712 cisternas | 118,5 | 8,43 |
| João Costa | 2.971 hab / 339 cisternas | 114,1 | 8,76 |
| São Lourenço do Piauí | 4.411 hab / 502 cisternas | 113,8 | 8,78 |
| Curral Novo do Piauí | 5.073 hab / 564 cisternas | 111,2 | 8,99 |
| Fartura do Piauí | 5.284 hab / 581 cisternas | 110,0 | 9,09 |

| Dirceu Arcoverde | 7.061 hab / 772 cisternas | 109,3 | 9,14 |
|--|--|---|--|
| Caldeirão Grande do Piauí | 5.503 hab / 575 cisternas | 104,5 | 9,56 |
| Floresta do Piauí | 2.334 hab / 241 cisternas | 103,2 | 9,68 |
| Nova Santa Rita | 4.059 hab / 405 cisternas | 99,8 | 10,02 |
| São Francisco de Assis do Piauí | 5.561 hab / 537 cisternas | 96,5 | 10,36 |
| São José do Divino | 4.842 hab / 460 cisternas | 95,0 | 10,52 |
| São Francisco do Piauí | 5.386 hab / 496 cisternas | 92,1 | 10,85 |
| Bonfim do Piauí | 5.918 hab / 521 cisternas | 88,0 | 11,36 |
| Lagoa de São Francisco | 6.329 hab / 549 cisternas | 86,7 | 11,53 |
| Assunção do Piauí | 7.467 hab / 646 cisternas | 86,5 | 11,56 |
| Milton Brandão | 6.543 hab / 546 cisternas | 83,4 | 11,99 |
| Guaribas | 4.281 hab / 351 cisternas | 82,0 | 12,19 |
| BAIXA POPULAÇÃO / COBERTURA MÉDIA (<10.000 hab e 40-79 cisternas/1000 hab) | | | |
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (1 Cisternas/X hab) |
| Isaías Coelho | 7.782 hab / 615 cisternas | 79,0 | 12,66 |
| Coronel José Dias | 4.243 hab / 334 cisternas | 78,7 | 12,71 |
| Juazeiro do Piauí | 5.215 hab / 404 cisternas | 77,5 | 12,90 |
| Bela Vista do Piauí | 4.093 hab / 314 cisternas | 76,7 | 13,04 |
| Dom Inocêncio | 9.036 hab / 643 cisternas | 71,1 | 14,06 |
| Alegrete do Piauí | 4.571 hab / 325 cisternas | 71,1 | 14,06 |
| São João da Fronteira | 5.525 hab / 366 cisternas | 66,2 | 15,11 |
| Júlio Borges | 5.388 hab / 333 cisternas | 61,8 | 16,18 |
| Patos do Piauí | 5.425 hab / 332 cisternas | 61,2 | 16,34 |
| Francisco Santos | 8.257 hab / 496 cisternas | 60,1 | 16,64 |
| Anísio de Abreu | 9.401 hab / 549 cisternas | 58,4 | 17,12 |
| São João da Varjota | 4.375 hab / 250 cisternas | 57,1 | 17,51 |
| São João da Serra | 6.118 hab / 344 cisternas | 56,2 | 17,79 |
| Conceição do Canindé | 4.943 hab / 273 cisternas | 55,2 | 18,12 |
| São Julião | 5.998 hab / 293 cisternas | 48,8 | 20,49 |
| Brejo do Piauí | 3.899 hab / 179 cisternas | 45,9 | 21,79 |
| Colônia do Piauí | 6.991 hab / 319 cisternas | 45,6 | 21,93 |
| Buriti dos Montes | 7.440 hab / 338 cisternas | 45,4 | 22,03 |
| Tanque do Piauí | 2.294 hab / 95 cisternas | 41,4 | 24,15 |
| BAIXA POPULAÇÃO / COBERTURA BAIXA (<10.000 hab e <40 cisternas/1000 hab) | | | |
| NOME DO MUNICÍPIO | DADOS POPULACIONAIS E DE INSTALAÇÃO DE CISTERNAS | DENSIDADE DE CISTERNAS (200 Cisternas/1000 hab) | DENSIDADE DE CISTERNAS (1 Cisternas/X hab) |
| Paquetão | 3.818 hab / 151 cisternas | 39,5 | 25,32 |
| Itaueira | 9.939 hab / 351 cisternas | 35,3 | 28,33 |
| Rio Grande do Piauí | 5.789 hab / 202 cisternas | 34,9 | 28,65 |
| São José do Peixe | 3.288 hab / 97 cisternas | 29,5 | 33,90 |
| Paes Landim | 4.100 hab / 118 cisternas | 28,8 | 34,72 |
| Pedro Laurentino | 2.458 hab / 69 cisternas | 28,1 | 35,59 |
| São José do Piauí | 6.600 hab / 184 cisternas | 27,9 | 35,84 |

| | | | |
|-------------------------|---------------------------|------|----------|
| Tamboril do Piauí | 2.949 hab / 82 cisternas | 27,8 | 35,97 |
| São João da Canabrava | 4.190 hab / 113 cisternas | 27,0 | 37,04 |
| Santana do Piauí | 4.124 hab / 109 cisternas | 26,4 | 37,88 |
| Santa Cruz do Piauí | 5.834 hab / 138 cisternas | 23,7 | 42,19 |
| Santo Antônio de Lisboa | 5.842 hab / 138 cisternas | 23,6 | 42,37 |
| Novo Oriente do Piauí | 6.081 hab / 142 cisternas | 23,3 | 42,92 |
| Marcolândia | 8.541 hab / 192 cisternas | 22,5 | 44,44 |
| Flores do Piauí | 4.415 hab / 97 cisternas | 22,0 | 45,45 |
| Cajazeiras do Piauí | 3.113 hab / 66 cisternas | 21,2 | 47,17 |
| Pajeú do Piauí | 3.001 hab / 51 cisternas | 17,0 | 58,82 |
| Lagoa do Sítio | 4.529 hab / 73 cisternas | 16,1 | 62,11 |
| Santa Rosa do Piauí | 4.645 hab / 74 cisternas | 15,9 | 62,89 |
| Santo Inácio do Piauí | 3.645 hab / 57 cisternas | 15,6 | 64,10 |
| Pavussu | 3.620 hab / 56 cisternas | 15,5 | 64,52 |
| São Miguel do Fidalgo | 2.824 hab / 42 cisternas | 14,9 | 67,11 |
| São Luis do Piauí | 2.279 hab / 29 cisternas | 12,7 | 78,74 |
| Ipiranga do Piauí | 9.275 hab / 114 cisternas | 12,3 | 81,30 |
| Sebastião Leal | 4.427 hab / 51 cisternas | 11,5 | 86,96 |
| Dom Expedito Lopes | 6.315 hab / 67 cisternas | 10,6 | 94,34 |
| Geminiano | 5.447 hab / 37 cisternas | 6,8 | 147,06 |
| Socorro do Piauí | 4.151 hab / 21 cisternas | 5,1 | 196,08 |
| Currais | 4.832 hab / 20 cisternas | 4,1 | 243,90 |
| Redenção do Gurgueia | 8.393 hab / 30 cisternas | 3,6 | 277,78 |
| Nazaré do Piauí | 6.660 hab / 23 cisternas | 3,5 | 285,71 |
| Colônia do Gurgueia | 6.157 hab / 20 cisternas | 3,2 | 312,50 |
| Bocaina | 4.078 hab / 11 cisternas | 2,7 | 370,37 |
| Eliseu Martins | 4.377 hab / 8 cisternas | 1,8 | 555,56 |
| Aroeiras do Itaim | 2.709 hab / 4 cisternas | 1,5 | 666,67 |
| Sussuapara | 6.221 hab / 5 cisternas | 0,8 | 1.250,00 |
| Aroazes | 5.369 hab / 3 cisternas | 0,6 | 1.789,67 |

Nota: “*”- Limítrofe.

Fonte: Autoria própria.

Com o intuito de ampliar o estoque e universalizar o acesso à água para a população, os diferentes programas no âmbito da região semiárida se destacam em diferentes momentos na implantação cisternas. No Programa Cisternas, no Piauí somente 6,9 mil cisternas (32%) foram entregues (Brasil, 2025). De modo complementar, Galvinctio e De Moura (2005), destacaram que, em Pernambuco, apenas 22% de 1 milhão de cisternas planejadas foram construídas, mostrando grandes diferenças quantitativas do estipulado. Leite *et al.* (2020), confirmam que a distribuição desses reservatórios de água não é uniforme no semiárido Nordeste, e que isso precisa ser melhorado para atender de maneira mais precisa as comunidades.

Esses dados mostram que, ao longo das últimas três décadas, houve falhas na produção e distribuição das cisternas no semiárido do Brasil, o que significa que os programas de instalação precisam de ajustes para serem mais eficazes. Considerando o impacto do clima semiárido no acesso à água, é necessário ampliar os esforços para alcance das ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e a ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) a população que carece do acesso deste recurso indispensável para a vida.

De modo complementar, Silva *et al.* (2014) apontam que, no semiárido, esses tanques de armazenamento de água são indispensáveis para o abastecimento de água durante a seca. Com base nos dados de pesquisadores da Embrapa por Andrade Júnior *et al.* (2004), o período de chuvas no estado do Piauí é definido no primeiro semestre, com o pico da precipitação geralmente ocorrendo entre fevereiro e março. Nesse intervalo, as taxas de pluviosidades são mais intensas e frequentes, o que torna esse período substancial para o armazenamento de água nas cisternas, preparando-as para o período subsequente de intensa seca, baixa umidade do ar e elevada irradiação solar, em destaque, nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. Além disso, outras pesquisas ressaltam que essas fontes alternativas de abastecimento hídrico fornecem água para tarefas domésticas e pequenas atividades agrícolas, contribuindo para a gestão sustentável da água e a resiliência das comunidades (De Castro, 2021; Monteiro; Polli, 2021).

Na análise realizada, todos os municípios mapeados no Piauí possuem longos períodos de secas e chuvas escassas. Os aspectos climáticos sazonais estão diretamente associados ao abastecimento hídrico, o que reforça a necessidade das cisternas como uma opção para garantir o acesso à água nessas regiões. Estudos confirmam que a distribuição de cisternas ativas é comum em diversas regiões semiáridas do Brasil. Por exemplo, Dos Santos Vieira *et al.* (2022), mapearam 132 escolas com a presença desses tanques de armazenamento de água em Jequitinhonha e Mucuri, em Minas Gerais, enquanto Almeida e Falcão (2020), documentaram a implementação de cisternas em Frecheirinha, Ceará. Por outra perspectiva, Ferreira *et al.* (2020), realizaram um diagnóstico desses armazenadores de água em escolas de Santana do Mundaú, Alagoas, mostrando que, embora esses reservatórios existam, seu uso ativo varia nesses municípios do semiárido. Esses estudos evidenciaram que, embora haja cisternas em várias áreas semiáridas, é necessário investigar mais sobre sua efetividade, distribuição geográfica e uso contínuo desse recurso em regiões vulneráveis.

Embora haja limitações sobre o mapeamento preciso de cisternas no Piauí, tornam-se indispensável sua compreensão, sua distribuição territorial e o acesso hídrico para a população. Visto que, o georreferenciamento é útil para identificar áreas que precisa de atenção e planejar intervenções específicas (Moura *et al.*, 2024), que visa garantir o armazenamento e a distribuição de água em comunidades rurais (Brito *et al.*, 2023). A discrepância entre o volume histórico de cisternas e tecnologias implantadas no estado do Piauí por diferentes programas e o número de unidades ativas no levantamento atual (N = 59.227) indica que há um processo de depreciação da infraestrutura hídrica.

Fatores como a vida útil dos materiais, especialmente as cisternas de polietileno, a variação no número de cisternas instaladas ao longo dos anos e a falta de políticas de manutenção após a construção das cisternas, contribuem para a diminuição das cisternas ativas. Além disso, o aumento de outras soluções hídricas para as populações rurais também impacta na redução da instalação de cisternas com o tempo. Adicionalmente, estes aspectos justificam alguns dos fatores que demonstram a ausência de cisternas ativas nos outros 98 municípios (45,37%) do semiárido piauiense.

A queda na implantação de cisternas no Piauí pode ser observada pela diminuição do número de unidades construídas pelos programas P1MC, P1+2 e Cisternas nas Escolas ao longo dos últimos anos. Essa redução também foi influenciada pelo período da pandemia de Covid-19, entre 2020 e 2023, conforme mostram gráficos da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA). No programa P1MC, em 2020, houve uma queda de 90,57% nas instalações, e essa redução continuou até 2023. No P1+2, a diminuição foi de 65,27% em 2015, seguindo em queda nos anos seguintes, até chegar a apenas 2 famílias atendidas no Piauí em 2023. Já o programa Cisternas nas Escolas teve reduções muito fortes: 63,53% em 2018 e 75,81% em 2019, atendendo somente 15 escolas, até encerrar suas atividades em 2020.

Nery *et al.* (2022) descobriram que 90% dos participantes de uma pesquisa feita sobre o manejo de águas na zona rural da região semiárida na Paraíba, dependem de políticas hídricas, o que reforça a importância de ampliar e efetivar estas políticas. Dessa forma, a implementação dessas ações auxilia no gerenciamento da água e promove a inclusão social, permitindo que as comunidades, sobretudo aquelas que compõem o semiárido nordestino, como no Piauí, participem ativamente da gestão dos recursos hídricos.

Com base na Tabela 1 e nas Figuras 4 e 5, sobre os municípios do semiárido piauiense com cisternas ativas em funcionamento e a distribuição na Bacia do Rio Parnaíba, observa-se

que, as Regiões Centro-Norte (semiárida) e Sul do Piauí, possuem uma rede de abastecimento mais consolidada, o que reduz a necessidade de cisternas ativas, como evidenciado. Além disso, fatores como o acesso e a logística de transporte de água e a infraestrutura existente, como canais de irrigação ou abastecimento, também podem contribuir para a menor implementação de cisternas. No entanto, a porção das Regiões Leste e Sudoeste do semiárido piauiense, se inserem em uma região com menos concentração de água da Bacia do Rio Parnaíba, em destaque áreas rurais onde a distância dos cursos d'água favorece a escassez de recursos hídricos e, conseqüentemente, a menor disponibilidade de água superficial e maior necessidade social.

Além disso, a variação no ciclo da precipitação no Piauí também influencia o volume de água disponível. Durante o período chuvoso, mesmo áreas com menor disponibilidade hídricas na bacia podem captar e armazenar água nas cisternas para uso posterior. No entanto, devido à irregularidade das chuvas e à baixa capacidade de recarga dos aquíferos no semiárido, o volume de água armazenada pode não ser suficiente para o ano todo, especialmente durante as secas prolongadas no segundo semestre. Estas relações são analisadas em diferentes estudos de outros estados da região semiárida, como na Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará (Nogueira, 2017; Leite *et al.*, 2020; Braga, 2023).

Nesse cenário, as cisternas atuam como uma forma de descentralização hídrica, favorece um acesso mais satisfatório, ao permitir a captação e o armazenamento da água da chuva diretamente nas residências da região semiárida, desconsiderando os fatores locomoção e distância ao acesso hídrico superficial. Essa autonomia reduz a dependência exclusiva de afluentes e do próprio Rio Parnaíba, durante os períodos de estiagem severa, garantindo a segurança hídrica para o consumo humano, dessedentação e para a pequena produção agrícola em momentos de baixo índice pluviométrico do estado.

Nesse viés, a dificuldade de acesso à água exige soluções diversas, incluindo medidas emergenciais, como as apresentadas neste estudo. Essa necessidade é ainda mais evidente em municípios do Piauí localizados em áreas da Bacia do Rio Parnaíba com menor disponibilidade hídrica e em regiões onde a cobertura de cisternas ainda é baixa diante do alto número de pessoas que dependem desse recurso e estão mais vulneráveis à seca.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise geoespacial evidenciou que 216 municípios do Piauí estão localizados no semiárido e na Bacia do Rio Parnaíba, 118 destes possuem cisternas ativas. Os municípios com os maiores índices de cisternas ativas no estado representam a faixa de 100 a 499 cisternas com 39 municípios (33,05%), seguidos por aqueles com menos de 100 cisternas com 33 municípios (27,97%). A categoria de baixa cobertura na densidade de cisternas por habitante abrange 7 municípios (30,46%) em populações acima de 10.000 habitantes, e 44 municípios (38,95%) nas classificadas abaixo de 10.000 habitantes. O grupo populacional inferior a 10.000 habitantes, representam 95 municípios (80,51%) do semiárido piauiense que possuem cisternas ativas. Sugere-se estudos mais específicos sobre a gestão e qualidade hídrica nos municípios Sussuapara, Aroazes, Eliseu Martins, Aroeiras do Itaim, Redenção do Gurgueia e Cristino Castro, devido aos baixos índices de cisternas, tanto em quantidade total quanto na relação com extensão territorial e o tamanho da população.

O “Indicador de Cobertura de Cisternas” proposto neste estudo, representa um relevante parâmetro classificatório para a realidade dos municípios do semiárido piauiense. A variação no número e na densidade de cisternas entre os municípios reflete não apenas a extensão territorial, mas também a dependência da população rural de fontes de água alternativas e a falta de uma gestão administrativa estratégica do recurso hídrico. As áreas da Bacia do Rio Parnaíba com menores concentrações de água enfrentam maior escassez hídrica, enquanto as regiões com maior disponibilidade de água têm menos cisternas. Essas concentrações de cisternas são distribuídas de maneira heterogênea pelo estado, sobre influência das características geológicas de cada região.

Ressalta-se, portanto, a necessidade de ampliar as políticas públicas para a gestão hídrica e desenvolvimento sustentável no Piauí, com um planejamento estratégico e contínuo para garantir a manutenção das tecnologias de acesso hídrico, e a distribuição justa e eficaz desse recurso. É fundamental investir em ferramentas de análise geoespacial para aprimorar o mapeamento de cisternas, identificar novas áreas vulneráveis à escassez de água e promover a gestão sustentável dos recursos hídricos no estado.

AGRADECIMENTOS

Os autores Leonardo Ferreira da Costa e Sandra Regina Pereira Cruz agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pela concessão da bolsa de

mestrado, por meio do Edital nº 003/2025 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores agradecem também, ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) e Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), vinculados à Universidade Federal do Piauí (UFPI), pelo apoio institucional. Ao Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos (MICROBIO) da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), *Campus* Heróis de Jenipapo pela infraestrutura cedida e suporte técnico disponibilizado aos diferentes estudos de qualidade hídrica no estado do Piauí.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Região Hidrográfica do Parnaíba**. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/parnaiba>. Acesso em: 28 dez. 2025.
- ALMEIDA, C. L.; FALCÃO, J. S. Convivência com o semiárido a partir do uso de cisternas de placas no município de Frecheirinhas, estado do Ceará, Brasil. **Agua y Territorio/Water and Landscape**, n. 15, p. 89-100, 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O. da; GOMES, A. A. N.; JÚNIOR, L. G. M. F. de. Atlas Climatológico do Estado do Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 151 p. (**Embrapa Meio-Norte. Documentos, 101**). ISSN 0104-866X.
- ARSKY, I. da C. Os efeitos do Programa Cisternas no acesso à água no semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 55, p. 73-78, 2020.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). **Programa um Milhão de cisternas (P1MC)**. Recife: ASA. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/projeto/p1mc/>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). **Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2)**. Recife: ASA. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/projeto/p12/>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). **Projeto Cisternas nas Escolas**. Recife: ASA. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/projeto/cisternas-nas-escolas/>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). **Semiárido brasileiro**. Recife: ASA, 2024. Disponível em: <https://asabrasil.org.br/semiariado/>. Acesso em: 30 dez. 2025.

- BARROS, J. D. de S.; TORQUATO, S. C.; AZEVEDO, D. C. F. de; BATISTA, F. G. de A. **Percepção dos agricultores de Cajazeiras na Paraíba, quanto ao uso da água de chuva para fins potáveis.** *Holos*, v. 2, p. 50-65, 2013.
- BRAGA, T. R. O. **Armazenamento de água em cisternas e sua relação com morbidade em Cajazeiras-PB.** 2023. 122 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Santos, Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Saúde Coletiva, 2023.
- BRASIL DAS ÁGUAS. **Região Hidrográfica do Parnaíba.** [S. l.]: Brasil das Águas, 2020. Disponível em: <https://brasildasaguas.com.br/educacional/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-do-parnaiba/>. Acesso em: 28 dez. 2025.
- BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. **Governo Federal garantiu mais de 6,9 mil cisternas e outras tecnologias de abastecimento para famílias no Piauí.** Brasília: SECOM, 28 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias-regionalizadas/programa-cisternas/governo-federal-garantiu-mais-de-6-9-mil-cisternas-e-outras-tecnologias-de-abastecimento-para-familias-no-piaui>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Capítulo 11: Piauí: Síntese das Disponibilidades Hídricas Superficiais. In Ministério do Meio Ambiente. **Programa Água Doce: resumo executivo.** Brasília, DF: MDR, 2020. p. 43-46. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/resumo_executivo_PAD1.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). **Resolução CONDEL/SUDENE nº 176, de 03 de janeiro de 2024.** Dispõe sobre a manutenção da delimitação do Semiárido brasileiro e dá outras providências. Recife: SUDENE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-176-de-3-de-janeiro-de-2024>. Acesso em: 30 dez. 2025.
- BRITO, A. P. M.; SUSA, M. P. de; AGUIAR, L. L. de C.; PINTO, O. R. de O.; PINTO, C. de M.; SALLES, M. G. F. Mapeamento das cisternas e análise da qualidade da água no assentamento Nova Assunção em Aracoiaba, Ceará. *REGET: Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 225-233, 2023.
- CARNEIRO FEITOSA, F. A.; CARNEIRO FEITOSA, E.; ALVES DEMETRIO, J. G. Vale do Gurguéia: uma zona estratégica de produção de água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, [s. l.], 2012. Suplemento - Anais do XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27713>. Acesso em: 28 dez. 2025.

- CARVALHO, R. M. As Variedades de Cisternas de Placa Utilizadas no Semiárido (The variety of tanks of plate used in the semiarid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1268-1281, 2016.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARNAÍBA (CBH). **A bacia**. [S. l.]: CBH Parnaíba, 2023. Disponível em: <https://parnaiba.cbh.gov.br>. Acesso em: 28 dez. 2025.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Bacia do Parnaíba: características e gestão de recursos hídricos**. Brasília, DF: CODEVASF, 2014.
- CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, É. H.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: Relatório diagnóstico do município de Alto Parnaíba**. Teresina: CPRM, 2011. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15777>. Acesso em: 28 dez. 2025.
- DA SILVA NETO, G. F.; SILVA, M. de C. C. Políticas públicas de acesso à água e convivência com o semiárido: as cisternas como tecnologias sociais. **Revista Macambira**, v. 2, n. 2, p. 21-30, 2018.
- DE CASTRO, C. N. Avaliação do Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais (Programa Cisternas), à luz dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Brasília, DF: **IPEA**, 2021. 76 p.
- DE OLIVEIRA MARINHO, J.; CAMPOS, J. O.; DE LIMA, V. R. P. A importância das cisternas de placas na zona rural de Serra Redonda-PB: uma análise da comunidade torre. **Revista Geotemas**, v. 9, n. 1, p. 07-27, 2019.
- DE PAULA, L. A. C.; DE ALCANTARA, F. V. Vida e resistência no Sertão: as cisternas como tecnologias socioespaciais para a convivência com o semiárido brasileiro. **Geopauta**, v. 7, 2023.
- DOS SANTOS VIEIRA, N.; LOPES, D. P. T.; HIGUCHI, A. K.; SILVA, F. A. G. H. da; SOARES, N. S. F. O Programa Cisternas nas Escolas nos Vales do Jequitinhonha e do Mucuri, Minas Gerais, Brasil. **Administração Pública e Gestão Social**, [S. l.], v. 14, n. 2, 2022.
- FERREIRA, E. P.; FERREIRA, J. T. P.; PANTALEÃO, F. de S. Programa Cisterna nas Escolas: estudo de caso na Microrregião Serrana dos Quilombos no estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 03, p. 1050-1061, 2020.
- GALVINCIO, J. D.; DE MOURA, M. S. B. Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2005, João Pessoa. Anais: **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. João Pessoa: ABRH, 2005. p. 1-13.
- GOMES, U. A. F.; HELLER, L. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais:

combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 03, p. 623-633, 2016.

HENIG, E. V. Breves reflexões sobre os resultados do Programa 1 Milhão de Cisternas. **Serviço Social em Revista**, v. 26, n. 1, p. 305-329, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Departamento de Geografia. **Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 1, p. 36-38. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html>. Acesso em: 30 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Territorial Brasileira 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-territorial/15774-divisao-territorial-do-brasil.html>. Acesso em: 28 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Piauí: panorama**. Censo 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/panorama>. Acesso em: 17 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/quadrogeografico/pdf/2022_080_semiarido.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido Brasileiro: Recortes Geográficos Legais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15974-semiarido-brasileiro.html>. Acesso em: 30 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **O semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>. Acesso em: 28 nov. 2025.

LEITE, N. M. G.; SANTANA, L. L.; BARBOSA, R. B. G.; SANTOS, M. I. F.; GOMES, F. N.; RODRIGUES, L. M.; ARRUDA, D. A.; RIBEIRO, G. do N. Estudo da viabilidade de implementação de cisternas no semiárido Brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 89401-89426, 2020.

- MONTEIRO, T. T.; POLLI, H. Q. Cisternas – Uma Alternativa ao Desenvolvimento Econômico e Ambiental nos Meios Rural e Urbano. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 256-264, 2021.
- MOURA, L. C. de; FRADE, L. F. da S.; MARQUES, D. F.; SILVA, R. M. S. da; CAVALCANTI, R. C.; ARAÚJO, L. C.; SILVA, C. M. da; SILVA, A. V. da. Aplicação do georreferenciamento na gestão ambiental do semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Revista Observatório da Economia Latino-Americana**, v. 22, n. 2, p. 188-206, 2024.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 26 nov. 2024.
- NERY, G. K. M.; NERY, J. F.; MELLO, A. C. P. de; BATISTA, F. R. da C. Mapeamento Socioambiental como Ferramenta de Avaliação da Gestão e Manejo de Água no Semiárido Brasileiro. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 251-268, 2022.
- NOGUEIRA, D. Segurança hídrica, adaptação e gênero: o caso das cisternas para captação de água de chuva no semiárido brasileiro. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 3, 2017.
- QGIS. **QGIS: Um sistema de informação geográfica livre e aberto**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Sistema de Alerta de Cheias da Bacia do Rio Parnaíba**: boletim de monitoramento n. 10. Teresina: SGB/CPRM, 16 nov. 2017. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/boletins/Parnaiba/20171116_10-20171116%20-%20103332.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.
- SILVA JÚNIOR, J. A. da; MORAES, V. S. de; LIRA, E. A. M. de. Software QGIS como ferramenta de ensino de tópicos em hidrologia para o ensino superior. **Revista da Geografia (Recife)**, Recife, v. 14, n. 5, p. 196, 2024.
- SILVA, A. de S.; BRITO, L. T. de L.; ROCHA, H. M. **Captação e conservação de água de chuva no semiárido brasileiro**: cisternas rurais II; água para consumo humano. Petrolina: Embrapa Semiárido, 1988. (Circular Técnica, 16). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/133211>. Acesso em: 28 dez. 2025.
- SILVA, J. A. L.; MEDEIROS, M. C. S.; DANTAS, H. F. da S.; FREITAS, J. D. de; AZEVEDO, P. V. de. Gestão hídrica a partir de cisternas de placas: avaliação socioambiental da eficiência do P1MC no município de Pedra Lavrada-PB. **HOLOS**, v. 4, p. 47-60, 2014.
- SILVA, V. M. de A.; MEDEIROS, R. M. de; SANTOS, D. C. dos; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1463, 2013.

SOBRINHO, J. F. Os recursos hídricos existentes nas cisternas de placas da bacia hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, Brasil. **Inter Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 06, n. 05, p. 01-15, 2020.

CAPÍTULO IV

ÁREAS DE INTERSEÇÃO ENTRE VEREDAS E AGRICULTURA NO NOROESTE DE MINAS GERAIS: UMA ANÁLISE ESPACIAL MULTITEMPORAL ENTRE 1985, 2005 E 2023

INTERSECTION AREAS BETWEEN VEREDAS AND AGRICULTURE IN NORTHWESTERN MINAS GERAIS: A MULTITEMPORAL SPATIAL ANALYSIS FOR 1985, 2005, AND 2023

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-4

Marcos David dos Santos Lopes¹
Lucas Gabryel Maciel dos Santos²
Carmem Lúcia da Silva Surmani¹
Felype Santos Pires³
Andressa Maryana Lopes Mota¹
Lorena Andrade dos Santos¹

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental - UFVJM.

² Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFVJM.

³ Graduando em Agronomia - UFVJM.

RESUMO

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, abriga ecossistemas sensíveis como as veredas, que desempenham papel fundamental na manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos. No Noroeste de Minas Gerais, essas áreas vêm sofrendo impactos diretos da expansão agrícola, especialmente de culturas como a soja, que desrespeitam os limites estabelecidos para Áreas de Preservação Permanente e comprometem os serviços ecossistêmicos dessas zonas úmidas. Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi analisar a evolução das interseções entre veredas e áreas agrícolas nos anos de 1985, 2005 e 2023, utilizando geotecnologias para quantificar e mapear essas sobreposições. Para isso, foram empregadas imagens da Coleção 9 do MapBiomas, dados do inventário florestal e ferramentas de geoprocessamento no QGIS, que permitiram extrair as classes agrícolas, padronizar a projeção SIRGAS 2000/UTM zona 23S e calcular as interseções entre os diferentes usos da terra e as veredas. Os resultados evidenciaram um crescimento expressivo da agricultura na região, que aumentou de 112.288,95 ha em 1985 para 917.436,43 ha em 2023, destacando-se o cultivo da soja. Ao mesmo tempo, as áreas de conflito entre veredas e

agricultura passaram de 327,13 ha em 1985 para 3.385,76 ha em 2023, um crescimento próximo a 900%, apontando para a intensificação da pressão antrópica sobre esses ecossistemas. Conclui-se que o avanço agrícola tem ampliado as zonas de sobreposição com as veredas e que o uso dessas ferramentas possibilitou a obtenção de dados precisos e comparáveis ao longo do tempo, reforçando a necessidade de maior controle, fiscalização e fomento de políticas públicas.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Áreas Úmidas. Expansão Agrícola.

ABSTRACT

The Cerrado, the second largest biome in Brazil, hosts sensitive ecosystems such as veredas, which play a fundamental role in maintaining biodiversity and water resources. In the northwestern region of Minas Gerais, these areas have been impacted by agricultural expansion, particularly by crops such as soybean, which often disregard the legally established boundaries of Permanent Preservation Areas and compromise the ecosystem services provided by these wetlands. In this context, the objective of this study was to analyze the evolution of intersections between veredas and agricultural

areas in the years 1985, 2005, and 2023, using geotechnologies to quantify and map these overlaps. To achieve this, images from MapBiomas Collection 9, forest inventory data, and geoprocessing tools in QGIS were used, enabling the extraction of agricultural classes, the standardization of the SIRGAS 2000/UTM Zone 23S projection, and the calculation of intersections between different land uses and veredas. The results revealed a significant expansion of agriculture in the region, increasing from 112,288.95 ha in 1985 to 917,436.43 ha in 2023, with soybean cultivation standing out. At the same time, conflict areas between veredas and

agriculture increased from 327.13 ha in 1985 to 3,385.76 ha in 2023, representing nearly a 900% increase and indicating intensified anthropogenic pressure on these ecosystems. It can be concluded that agricultural expansion has amplified the overlap zones with veredas, and that the use of these tools enabled the generation of accurate and comparable data over time, reinforcing the need for stronger control, enforcement, and the promotion of public policies.

Keywords: Geoprocessing. Wetlands. Agricultural Expansion.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, ocupa cerca de 22% do território nacional e é reconhecido por sua elevada biodiversidade e importância ecológica, desempenhando um papel fundamental na manutenção dos recursos hídricos do país (Embrapa, 2021). Em Minas Gerais, especialmente no Noroeste do estado, esse bioma abriga ecossistemas estratégicos, como as veredas - áreas úmidas associadas a solos saturados de água e caracterizadas pelo buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Esses ambientes são classificados como Áreas de Preservação Permanente (APPs) devido à sua função na proteção de nascentes e manutenção de cursos d'água (Augustin, Melo e Aranha, 2009).

Nas últimas décadas, essa região que abrange as microrregiões de Paracatu e Unaí tem vivenciado uma intensa modificação do uso do solo, motivada principalmente pelo crescimento das atividades agrícolas. Essa transformação resultou na substituição de áreas nativas por grandes extensões de monoculturas, sobretudo de grãos (Santos et al., 2024). Apesar da proteção legal conferida às veredas, essas áreas têm sido diretamente impactadas pela pressão antrópica, frequentemente desrespeitando os limites das APPs e gerando zonas de conflito entre a agricultura e os ecossistemas protegidos (Araújo, 2017).

A modificação da vegetação nativa e a proximidade entre os sistemas agrícolas e as veredas geram impactos ambientais, como desmatamento, assoreamento de cursos d'água, alteração do regime hidrológico e contaminação do solo e da água devido ao uso de agrotóxicos e fertilizantes (Capel, Souza e Oliveira, 2017). Essas intervenções podem provocar a degradação dessas áreas úmidas, comprometendo serviços ecossistêmicos essenciais, como

a regulação do fluxo hídrico, a conservação da biodiversidade e o equilíbrio ambiental (Moura; Fonseca, 2024).

No entanto, há escassez de análises temporais detalhadas que quantifiquem a evolução espacial desses conflitos ao longo do tempo. Nesse contexto, as geotecnologias (como sensoriamento remoto e SIG), surgem como ferramentas eficazes e desempenham um papel fundamental na identificação das áreas de sobreposição, permitindo a geração de dados precisos de forma rápida, o que facilita sua visualização e interpretação (Luppi et al., 2015). Essas tecnologias apresentam uma abordagem eficaz para analisar, tanto espacial quanto temporalmente, as interações entre as áreas agrícolas e as veredas, contribuindo diretamente para a elaboração de estratégias voltadas à gestão e à conservação ambiental (Mileski, Garcia e Campos, 2013).

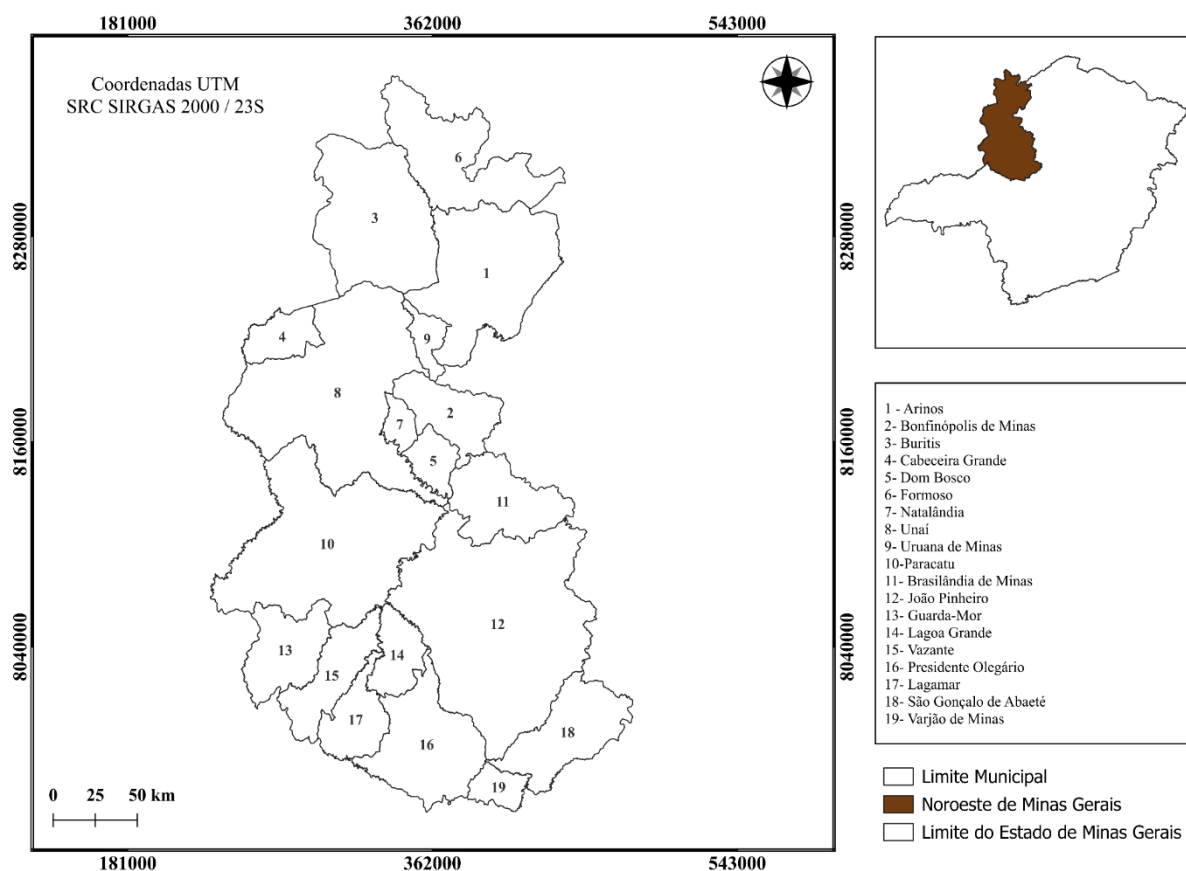
Com base na premissa de que a expansão agrícola tem avançado sobre as veredas e ampliado as zonas de conflito ao longo do tempo, este estudo objetiva analisar as interseções entre agricultura e as áreas úmidas no Noroeste de Minas Gerais nos anos de 1985, 2005 e 2023, utilizando técnicas de geoprocessamento. A proposta visa identificar e quantificar a evolução dessas sobreposições ao longo dos anos, contribuindo para futuros diagnósticos e para a fiscalização da gestão territorial em áreas ambientalmente sensíveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na mesorregião Noroeste de Minas Gerais, Brasil, abrangendo 19 municípios, (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (Noroeste de Minas Gerais), com delimitação municipal



Fonte: Autoria própria.

2.2. COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

Foram utilizados dados raster da Coleção 9 do MapBiomas Brasil (1985, 2005 e 2023) sobre uso e ocupação do solo, complementados pelo inventário florestal do IDE-Sisema (2009) para identificação das veredas. A escolha desses períodos permite avaliar mudanças antes e após marcos legais como o Código Florestal de 2012.

Todo o processamento foi realizado no QGIS Long Term Release (LTR) - versão 3.34.11 'Prizren', iniciando pela conversão dos rasters para formato vetorial e recorte espacial conforme os limites da área de estudo permitindo a identificação das diferentes classes de ocupação conforme a legenda disponibilizada pelo MapBiomas.

Foram selecionadas as classes agrícolas (cana-de-açúcar, soja, café, algodão) e outras lavouras perenes e temporárias não especificadas. As áreas de vegetação nativa, plantada e terrenos sem cobertura vegetal foram excluídas da análise. Paralelamente, os polígonos de veredas foram extraídos do inventário florestal e foram recortados para a área de estudo.

Todos os dados tiveram seu sistema de referência de coordenadas (SRC) padronizados para SIRGAS 2000/UTM zona 23S.

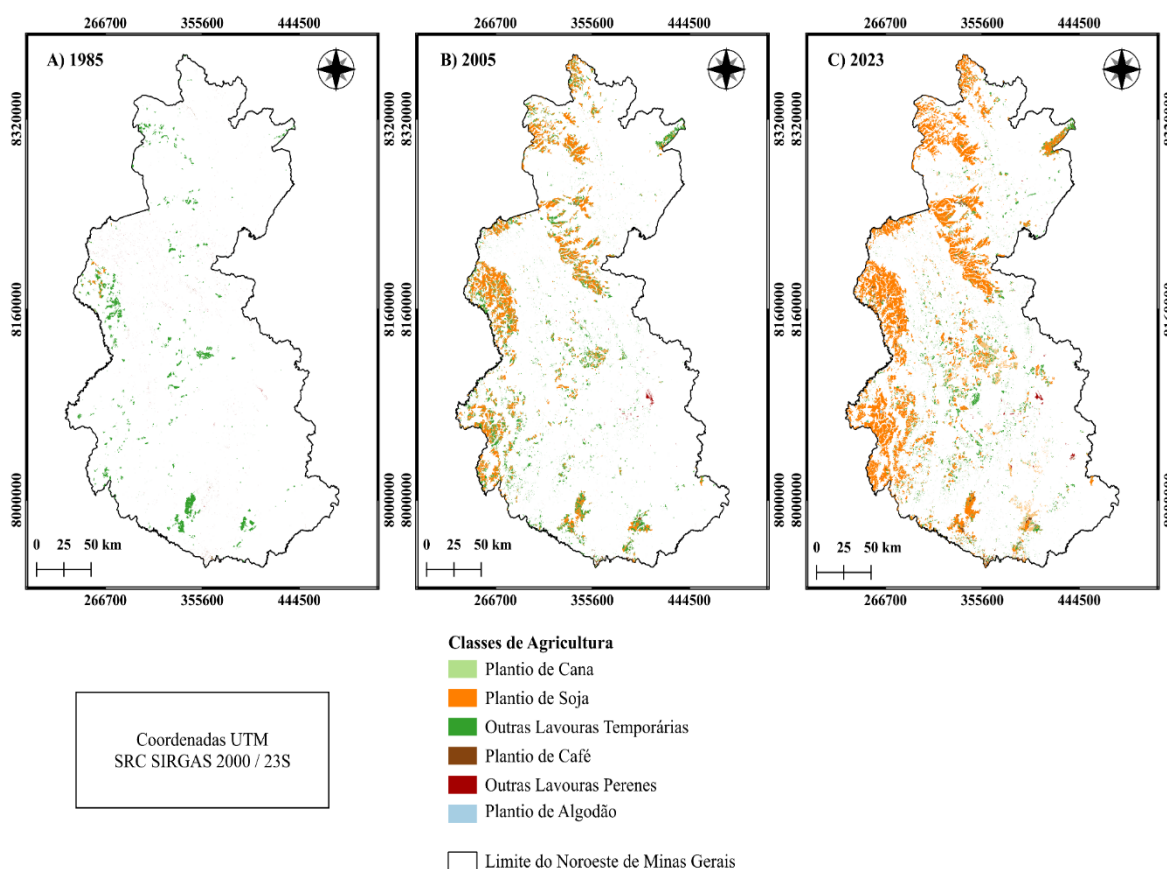
Após o recorte e a correção das imagens, os polígonos foram consolidados por ano com a ferramenta “Dissolver”. A identificação das zonas de conflito foi realizada mediante a ferramenta “Interseção”, que permitiu sobrepor as camadas de vereda e atividades agrícolas para cada ano analisado. Assim, quantificou-se a extensão territorial dessas áreas em hectares por meio da tabela de atributos, possibilitando a análise comparativa temporal e espacial. Por fim, foi utilizado o complemento “QuickMapServices” para gerar uma imagem do Google satélite para a validação das áreas que foram identificadas como zonas de conflito durante o processamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento dos dados de uso e ocupação do solo revelou uma expansão significativa das áreas agrícolas na região noroeste de Minas Gerais entre 1985 e 2023 (Figura 2). A análise quantitativa demonstrou um crescimento de aproximadamente 700% na área destinada à agricultura, passando de 112.288,95 hectares em 1985 para 917.436,43 hectares em 2023 (Tabela 1).

Esse padrão de expansão foi particularmente marcante a partir de 2005, quando a área agrícola já havia aumentado em relação ao ano inicial do estudo. Entre as culturas analisadas, a soja se destacou como o principal vetor de expansão agrícola na região, isso se deve ao processo de modernização da agricultura brasileira (Freitas; Mendonça, 2016).

Figura 2 – Mapeamento das áreas de agricultura durante os anos de 1985, 2005 e 2023 no noroeste de Minas Gerais



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 – Áreas (em hectares) das classes de agricultura mapeadas nos anos de 1985, 2005 e 2023

| Classe de Agricultura | 1985 | 2005 | 2023 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Plantio de Soja | 3.946,47 | 371.910,02 | 691.659,52 |
| Outras Lavouras Temporárias | 102.283,26 | 222.456,25 | 161.834,62 |
| Outras Lavouras Perenes | 3.466,35 | 5.585,15 | 6.295,54 |
| Plantio de Café | 2.592,87 | 4.303,33 | 14.427,56 |
| Plantio de Cana | Não Mapeado | 123,70 | 41.427,56 |
| Plantio de Algodão | Não Mapeado | 31,63 | 1.221,54 |
| Total | 112.288,95 | 604.410,08 | 917.436,43 |

Fonte: Autoria própria.

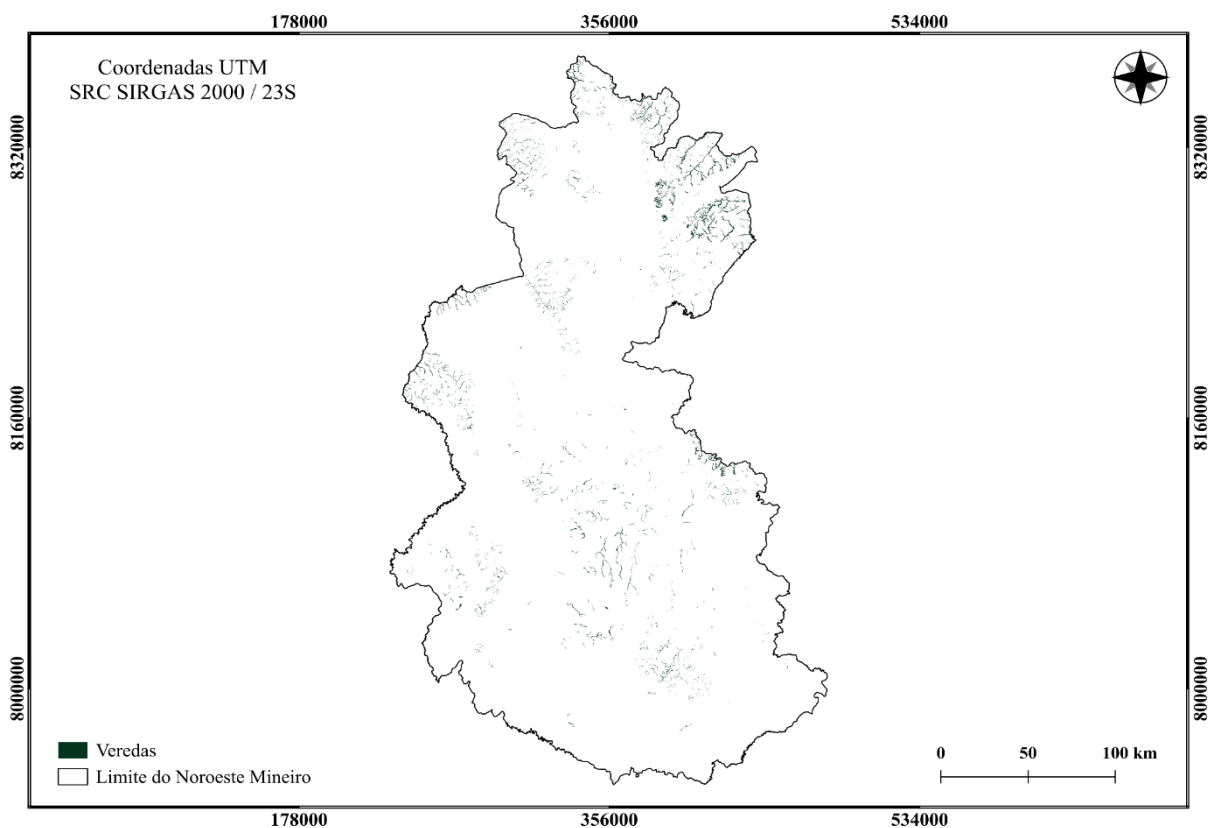
Apesar da consistência geral dos dados do MapBiomas para análises em escala regional, foram identificadas algumas limitações metodológicas: Subestimação de certas áreas agrícolas, especialmente cultivos perenes e sistemas integrados; Generalização de classes que podem mascarar a diversidade de sistemas produtivos; Dificuldade em distinguir

entre diferentes estágios de conversão agrícola. Essas limitações são compensadas pela vantagem de se trabalhar com séries temporais padronizadas e de ampla cobertura espacial, fundamentais para estudos de mudança de uso da terra (MapBiomas Brasil, 2021).

O padrão de expansão observado levanta importantes questões sobre: Os impactos sobre os remanescentes de vegetação nativa; A pressão sobre áreas protegidas como as veredas; A necessidade de políticas públicas que conciliam produção agrícola e conservação.

Após o mapeamento das áreas de agricultura na região, foi necessário identificar os locais com presença de veredas, para isso, utilizou-se o último inventário florestal de 2009, onde foram então extraídas separadamente, gerando um vetor específico com o objetivo de facilitar a visualização dos locais onde esse ecossistema está presente (Figura 3). No período analisado, esse ecossistema correspondia a 71.064,55 hectares, com foco nos municípios de Arinos e Formoso.

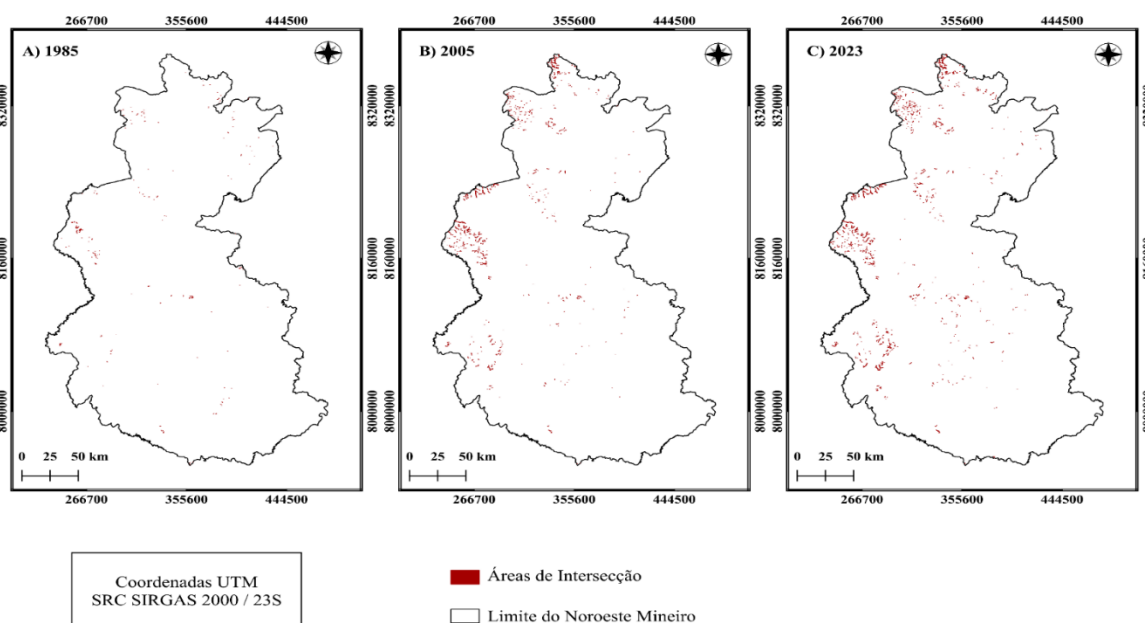
Figura 3 – Áreas mapeadas de veredas no noroeste de Minas Gerais no ano de 2009



Fonte: Autoria própria.

Mediante análise de interseção espacial entre as áreas agrícolas e veredas mapeadas, identificaram-se as zonas de conflito e proximidade entre esses usos do solo (Figura 4). Observa-se que, com o avanço agrícola ao longo do tempo, também houve um aumento significativo nas áreas de interseção. Em 1985, essas áreas somavam 327,13 hectares; em 2005, passaram para 2.225,9 hectares; e, em 2023, chegaram a 3.385,76 hectares, um crescimento de aproximadamente 900% entre 1985 e 2023 (Tabela 2). Durante esse período, o crescimento das áreas sobrepostas foi desproporcional em relação à expansão agrícola total, indicando um padrão de ocupação que se aproxima ou até mesmo invade áreas legalmente protegidas.

Figura 4 – Áreas de interseção entre veredas e agricultura no noroeste de Minas Gerais durante os anos de 1985, 2005 e 2023



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Áreas (em hectares) de interseção entre agricultura e vereda nos anos de 1985, 2005 e 2023

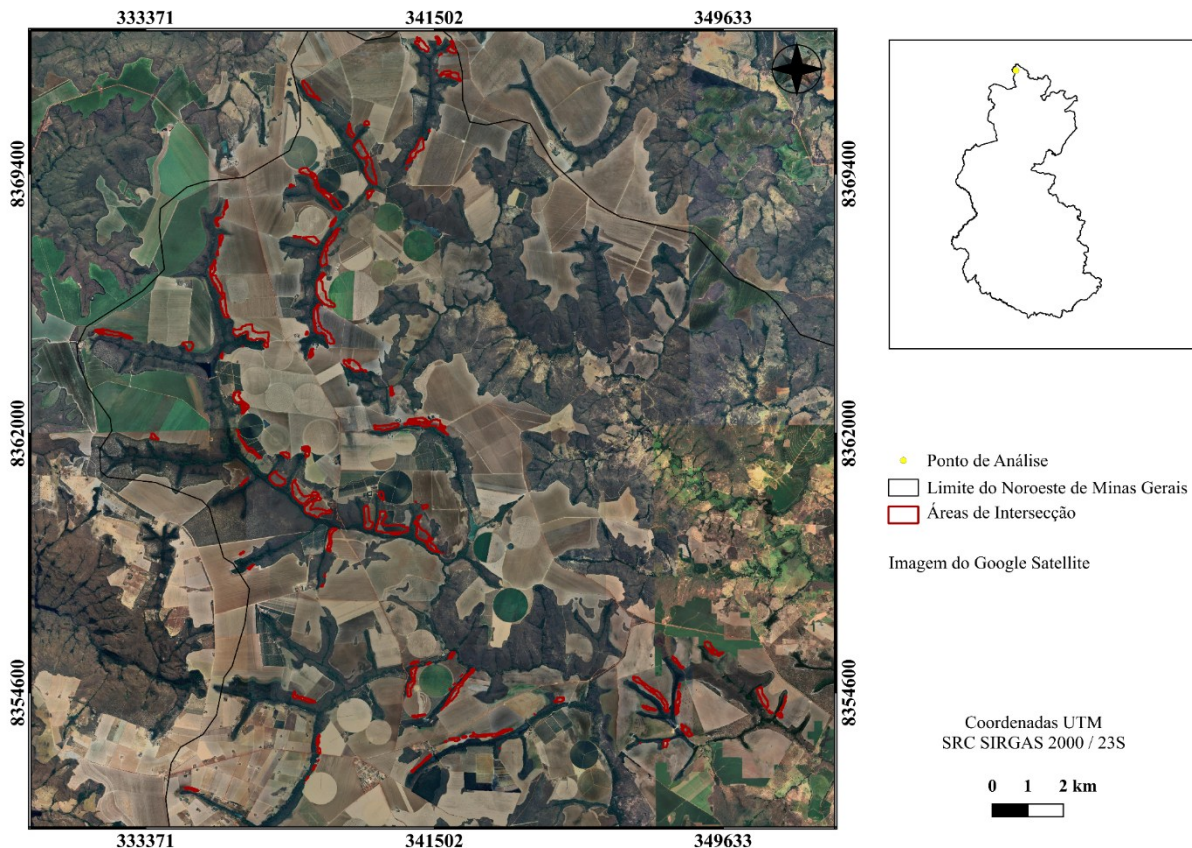
| Ano | Área (ha) |
|------|-----------|
| 1985 | 327,13 |
| 2005 | 2.225,9 |
| 2023 | 3.385,76 |

Fonte: Autoria própria.

A expansão agrícola sobre áreas úmidas, particularmente as veredas, pode ser constatada tanto por análises quantitativas quanto por representações espaciais, que

evidenciam claramente as zonas críticas de conflito entre esses usos do solo e apontam a necessidade de monitoramento e ações fiscalizatórias (Figura 5). A identificação e quantificação temporal dessas sobreposições constituem ferramentas fundamentais para avaliar o cumprimento da legislação ambiental vigente, em especial das disposições do Código Florestal sobre Áreas de Preservação Permanente (Lei nº 12.651/2012).

Figura 5 – Áreas de interseção destacadas entre veredas e agricultura no Noroeste de Minas Gerais, no ano de 2023



Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de ferramentas de geoprocessamento aliado a dados públicos de uso e ocupação do solo permitiu identificar com precisão as áreas de conflito entre agricultura e veredas no Noroeste de Minas Gerais. A análise temporal revelou um crescimento expressivo das áreas agrícolas entre 1985 e 2023, acompanhado por um aumento proporcionalmente ainda maior nas zonas de conflito. A quantificação das sobreposições ao longo das décadas demonstrou um crescimento de quase 900% nas áreas de interseção, reforçando a necessidade de maior fiscalização e da implementação de políticas públicas que garantam o cumprimento da

legislação ambiental, além de fornecer subsídios técnicos relevantes para o monitoramento ambiental e a preservação de ecossistemas frágeis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGPV e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo fomento à formação e à pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- Araújo, I. A. (2017). Análise dos conflitos do uso e ocupação do solo em área de preservação permanente – APP – urbana. **Íandé: Ciências e Humanidades**, 1(1), 58–67. Disponível em: doi:10.36942/iande.v1i1.19. Acesso em: 20 jun. 2025.
- Augustin, C. H. R. R.; Melo, D. R. de; Aranha, P. R. A. (2009). Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do Cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 10(1). <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i1.123>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/123>. Acesso em: 7 jun. 2025.
- Capel, W. F. et al. (2017). Devastação do Cerrado: ocupação pela agricultura e antropização das veredas na região de Pires do Rio em Goiás. In: **I Simpósio Interdisciplinar em Ambiente e Sociedade, Morrinhos, GO, Brasil**, p. 700–711. Morrinhos: Universidade Estadual de Goiás (PPGAS/UEG).
- Embrapa. (s.d.). **Biodiversidade do bioma Cerrado**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/biodiversidade>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Freitas, R. E.; Mendonça, M. A. A. de. (2016). Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 54(3), 497–516. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540306>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- Geoprocessamento aplicado na identificação de conflitos de uso em APPs em Lençóis Paulista/SP em função da legislação ambiental.** (2014). Formação (Online), 2(20). <https://doi.org/10.33081/formacao.v2i20.2356>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/2356>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- Instituto Estadual de Florestas (IEF); Universidade Federal de Lavras (UFLA). (2009). **Inventário florestal da Flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais – cobertura vegetal 2003–2008 (Inventário Florestal 2009)**. Belo Horizonte: IDE-Sisema/IEF/UFLA. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 21 jun. 2025.

- Luppi, A. S. L.; Santos, A. R. dos; Eugenio, F. C.; Feitosa, L. S. (2015). Utilização de geotecnologia para o mapeamento de áreas de preservação permanente no município de João Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, 22(1), 13–22. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.0027>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/XC5TK5GvqPtGWzCXGkYdbYm>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- MapBiomas. (2021, out.). **A evolução da agricultura, silvicultura e irrigação nos últimos 36 anos: Destaques do mapeamento anual da agricultura, silvicultura e irrigação no Brasil entre 1985 a 2020**. Coleção 6. Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- MapBiomas Project. (1985–2023). **Mapa anual de cobertura e uso da terra do Brasil (ano de 1983) – Collection 9**. Dados públicos disponíveis em MapBiomas. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- MapBiomas Project. (1985–2023). **Mapa anual de cobertura e uso da terra do Brasil (ano de 2005) – Collection 9**. Dados públicos disponíveis em MapBiomas. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- MapBiomas Project. (1985–2023). **Mapa anual de cobertura e uso da terra do Brasil (ano de 2023) – Collection 9**. Dados públicos disponíveis em MapBiomas. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- Moura, C. P. de; Fonseca, L. R. da. (2024). Análise ambiental de subsistema de veredas: um estudo no assentamento Jaraguá, Água Boa – Mato Grosso. **O Social em Questão**, 59, 187–212. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Santos, A. P. dos; Arantes, L. T.; Paula, A. L. de; Silva, D. C. da C. e. (2024). Avaliação da expansão agropecuária como forma de indicador de degradação ambiental na mesorregião Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil. **GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, 33, 7–26. <https://doi.org/10.21138/GF.839>

CAPÍTULO V

ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS DE VIDA DE DISPERSORES DE SEMENTES NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE (1985–2023)

TEMPORAL AND SPATIAL ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER IN THE HOME RANGES OF SEED DISPERSERS IN THE METROPOLITAN MESOREGION OF BELO HORIZONTE (1985–2023)

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-5

Carmem Lúcia da Silva Surmani¹

Lucas Gabryel Maciel dos Santos²

Fabiana Xavier Pereira³

Henrique Coimbra Lopes¹

Adelson Pereira dos Santos⁴

Chauanny Cordeiro de Sousa⁵

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental - UFVJM.

² Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFVJM.

³ Bacharela em Agronomia - FACTU.

⁴ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFVJM.

⁵ Bacharela em Agronomia - UFVJM.

RESUMO

As florestas nativas têm sido continuamente pressionadas por atividades antrópicas, como urbanização, agricultura e silvicultura, resultando na redução e fragmentação de habitats essenciais para a fauna. Este estudo analisou as transformações no uso e cobertura do solo entre 1985 e 2023 dentro das áreas de vida potenciais de duas espécies frugívoras – *Ara ararauna* (ave) e *Nasua nasua* (mamífero) – na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MG). Foram utilizados dados do MapBiomas e registros de ocorrência do GBIF para delimitar áreas de vida via estimativa de densidade de Kernel no QGIS. Os resultados apontaram redução significativa das formações florestais e savânicas, acompanhada pela expansão de áreas urbanas, silvicultura e mosaicos de uso. Essa mudança indica perda de habitat, redução da conectividade ecológica e possíveis riscos à funcionalidade da paisagem, confirmando a hipótese inicial de que o avanço das áreas antrópicas afeta negativamente a disponibilidade de habitats naturais para essas espécies. Destaca-se a necessidade de ações

integradas de conservação e restauração florestal para manutenção da biodiversidade e dos processos ecológicos na região.

Palavras-chave: Zoocoria. Uso e cobertura. Perda de habitat. Área de vida.

ABSTRACT

Native forests have been continuously pressured by anthropogenic activities such as urbanization, agriculture, and silviculture, resulting in the reduction and fragmentation of habitats essential for fauna. This study analyzed land use and land cover changes between 1985 and 2023 within the potential home ranges of two frugivorous species – *Ara ararauna* (bird) and *Nasua nasua* (mammal) – in the Metropolitan mesoregion of Belo Horizonte (MG), Brazil. MapBiomas data and GBIF occurrence records were used to delimit home ranges through Kernel density estimation in QGIS. The results showed a significant reduction in forest and savanna formations, accompanied by the expansion of urban areas, silviculture, and land-use mosaics. These changes indicate habitat loss, reduced



ecological connectivity, and potential risks to landscape functionality, confirming the initial hypothesis that the expansion of anthropogenic areas negatively affects the availability of natural habitats for these species. The findings highlight the need for integrated conservation and forest

restoration actions to maintain biodiversity and ecological processes in the region.

Keywords: Zoocory. Land use and land cover. Habitat loss. Home range.

1. INTRODUÇÃO

Florestas nativas sofrem pressões crescentes decorrentes de atividades antrópicas, especialmente pela expansão contínua de áreas urbanas, industriais e agrícolas. Essas pressões vêm reduzindo gradativamente os habitats naturais, afetando diretamente a flora e a fauna a eles associadas (Cerqueira et al., 2021; Magalhães et al., 2010). A fragmentação de ecossistemas emerge, assim, como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, comprometendo processos ecológicos essenciais, inclusive aqueles relacionados à conectividade e funcionalidade da paisagem (Laschefski; Costa, 2008; Mueller et al., 2014).

Entre os processos afetados, destaca-se a dispersão de sementes mediada por frugívoros (zoocoria), fundamental para a regeneração e manutenção da diversidade vegetal. Embora não sejam o foco direto deste estudo, essas espécies desempenham papel ecológico relevante e sua ocorrência está fortemente associada à presença de ambientes naturais (Jakovac et al., 2021, 2021). Assim, seu uso como referência espacial (por meio da estimativa de áreas de vida) permite avaliar indiretamente a integridade e a dinâmica da paisagem (Chazdon et al., 2016; Hobbs et al., 2006).

Inserida em uma região de transição entre os domínios da Mata Atlântica e do Cerrado, a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MG) destaca-se pela intensa pressão antrópica, refletida em uma paisagem altamente fragmentada (Caldeira; Parré, 2020; Fernandes; Caldeira, 2016). Apesar disso, ainda abriga remanescentes de vegetação nativa e populações significativas de fauna silvestre, o que a torna estratégica para estudos sobre os efeitos da transformação do uso da terra sobre zonas de interesse ecológico (Laschefski; Costa, 2008).

Nesse contexto, abordagens baseadas em áreas de vida, que correspondem a estimativas do território potencialmente utilizado por certas espécies, podem oferecer uma leitura espacialmente explícita das mudanças no uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Em especial, quando se utiliza como referência espécies funcionalmente importantes e

associadas a remanescentes naturais, como os frugívoros, essas análises fornecem subsídios para compreender a relação entre ocupação antrópica e conservação ecológica.

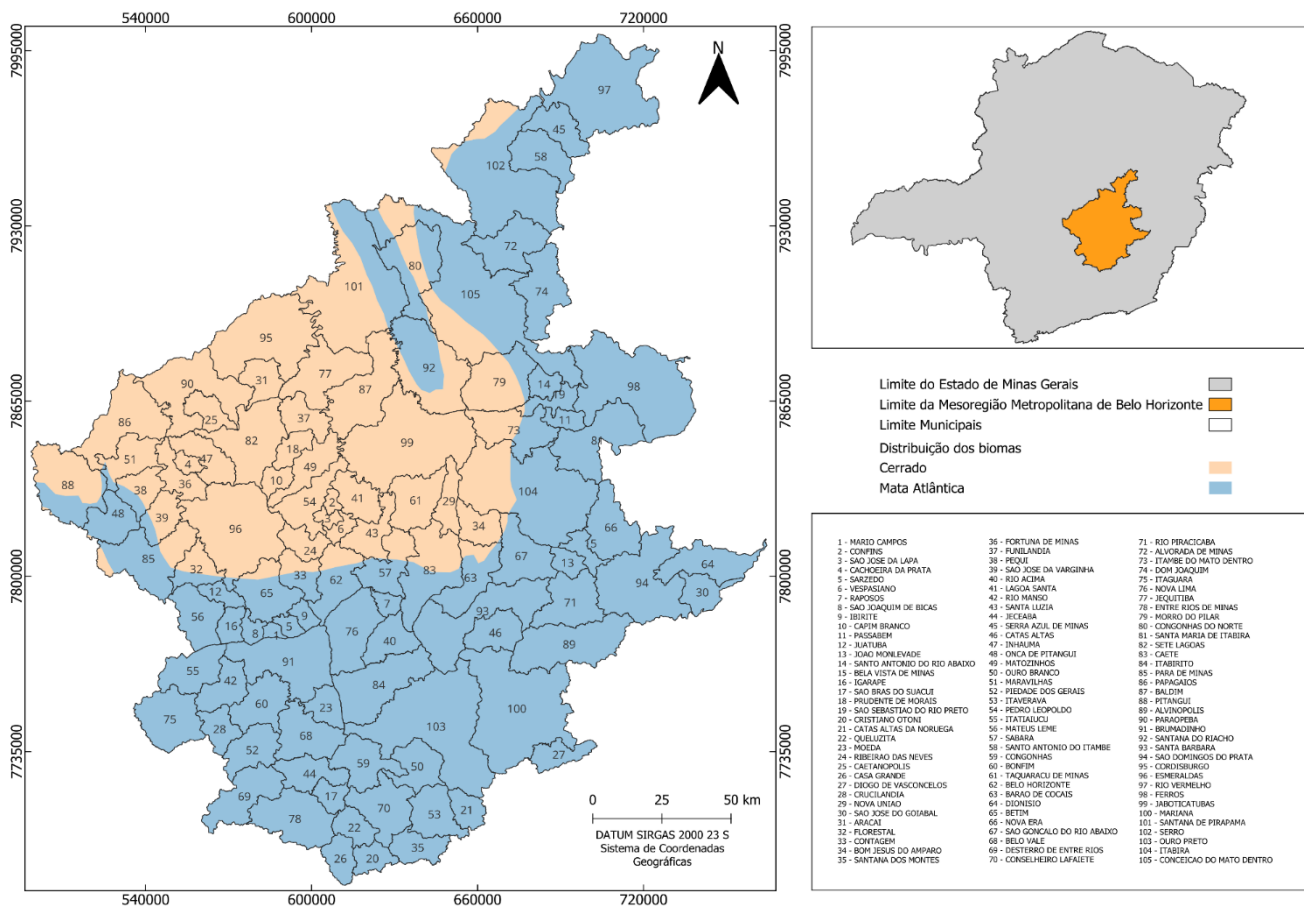
Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar as transformações do uso e cobertura do solo ao longo de quase quatro décadas (1985–2023) dentro das áreas de vida potenciais de duas espécies frugívoras (uma ave e um mamífero), na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. A hipótese é que, com o avanço das áreas antrópicas (urbanas, pastagens, agrícolas), houve uma redução da vegetação nativa dentro dos territórios potencialmente utilizados por essas espécies, o que pode indicar perda de habitat e riscos à manutenção da funcionalidade ecológica da paisagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi realizado na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, composta por 105 municípios (Sousa, 2023), conforme definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A região foi escolhida por apresentar elevada densidade de registros de avistamento de espécies da fauna silvestre, facilitando a aplicação de análises espaciais. A delimitação da área de estudo pode ser visualizada na Figura 1, que apresenta a distribuição dos 105 municípios da mesorregião. Os biomas predominantes na região são o Cerrado e a Mata Atlântica, que coexistem em áreas de transição ecológica marcadas por alta diversidade e forte pressão antrópica.

Figura 1 - Delimitação da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MG)



2.2. DADOS DE OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES

Foram selecionadas duas espécies, uma ave (*Ara ararauna*) e um mamífero (*Nasua nasua*), a escolha visou contemplar diferentes grupos taxonômicos e perfis ecológicos, com base na disponibilidade de dados de ocorrência e na presença documentada dessas espécies na região de estudo. Não foi adotado critério de classificação por eficiência de dispersão, mas sim a representatividade funcional no contexto da fauna frugívora regional. Os registros de ocorrência foram obtidos por meio do plugin do Global Biodiversity Information Facility (GBIF), no software QGIS Long Term Release (LTR) – versão 3.40.4 'Bratislava', considerando todos os anos disponíveis. Os dados foram tratados e convertidos em camadas geográficas, no sistema de referência SIRGAS 2000 / UTM zona 23S.

Esses registros abrangem diferentes períodos e fontes, compondo um conjunto geral de ocorrência por espécie. Não foi aplicada filtragem temporal, uma vez que o objetivo do estudo não é avaliar a dinâmica espaço-temporal da fauna, mas sim analisar as

transformações do uso e cobertura do solo, ao longo de quase quatro décadas, dentro das áreas de vida potenciais ocupadas por essas espécies.

A escolha por espécies dispersoras justifica-se pelo seu papel ecológico relevante na regeneração de ecossistemas (Campos et al., 2012; Wright; Hernández; Condit, 2007). Ressalta-se, no entanto, que o foco do trabalho não está na delimitação das áreas de dispersão de sementes, mas sim nas áreas de vida desses organismos, utilizadas como referência espacial para a análise da paisagem.

2.3. MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

As informações de uso e cobertura do solo foram obtidas por meio da plataforma MapBiomas (Coleção 9), nos formatos raster, para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023. Os dados foram recortados para a área de estudo e reprojatados para o sistema de referência compatível com os dados de ocorrência (SIRGAS 2000 / UTM zona 23S). Posteriormente, os arquivos raster foram convertidos para o formato vetorial, permitindo a quantificação da área ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo.

2.4. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE VIDA – DENSIDADE DE KERNEL

A delimitação das áreas de vida foi realizada por meio da ferramenta de Densidade de Kernel (KDE) no QGIS, aplicada sobre os registros de ocorrência de cada espécie. Para os mamíferos e aves, foram considerados raios específicos, calculados com base na média de área de vida documentada na literatura científica. O tamanho do pixel (resolução espacial) foi ajustado para 10% do valor do raio, conforme indicado em referências especializadas. Os parâmetros utilizados estão organizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para estimativa das áreas de vida por Densidade de Kernel, considerando área média de uso do território por espécie, raio estimado e resolução espacial (pixel).

| Nome comum (popular) | Nome científico | Área de vida (km ²) | Raio estimado (m) | Pixel (m) | Fonte |
|----------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|--------------------------|
| Quati | <i>Nasua nasua</i> | 220,00 | 8368 | 837 | Beisiegel et al., 2013 |
| Arara-canindé | <i>Ara ararauna</i> | 293,00 | 9657 | 966 | Brightsmith et al., 2021 |

Fonte: Autoria própria.

Os arquivos raster resultantes foram vetorizados, permitindo a geração de polígonos representativos das áreas de vida potenciais de cada espécie.

2.5. ANÁLISE ESPACIAL E CRUZAMENTO DE DADOS

As áreas de vida vetorizadas foram sobrepostas às camadas de uso e cobertura do solo referentes aos cinco anos analisados. Esse cruzamento permitiu calcular a proporção de cada classe de uso do solo dentro dos polígonos, viabilizando a identificação de transformações no contexto paisagístico ao longo do tempo.

Para a análise e apresentação dos resultados, as espécies foram avaliadas individualmente, com base em suas respectivas áreas de vida. Essa abordagem permite comparar diretamente a composição e a evolução do uso e cobertura do solo ao longo do tempo para cada espécie, sem a necessidade de agrupamento funcional. Assim, torna-se possível identificar variações no padrão de ocupação da paisagem dentro dos territórios potenciais utilizados pelas espécies selecionadas.

As camadas vetoriais de uso e cobertura do solo foram dissolvidas por categoria, e as áreas ocupadas por cada classe foram calculadas individualmente para cada ano, permitindo uma análise comparativa da paisagem nas regiões de interesse ecológico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Referindo-se à *Ara ararauna*, observa-se que a classe Pastagem permaneceu como dominante ao longo do período, apesar de ter apresentado redução percentual (Tabela 2), passando de 34,18% em 1985 para 31,57% em 2023. A Formação Florestal, por sua vez, também apresentou redução de área, de 147.339,25 ha (30,99%) para 121.197,39 ha (25,50%), indicando possíveis processos de desmatamento e conversão de áreas florestais para outras classes de uso, especialmente pastagem e silvicultura, que teve aumento expressivo de 526,08 ha (0,11%) em 1985 para 7.122,94 ha (1,50%) em 2023.

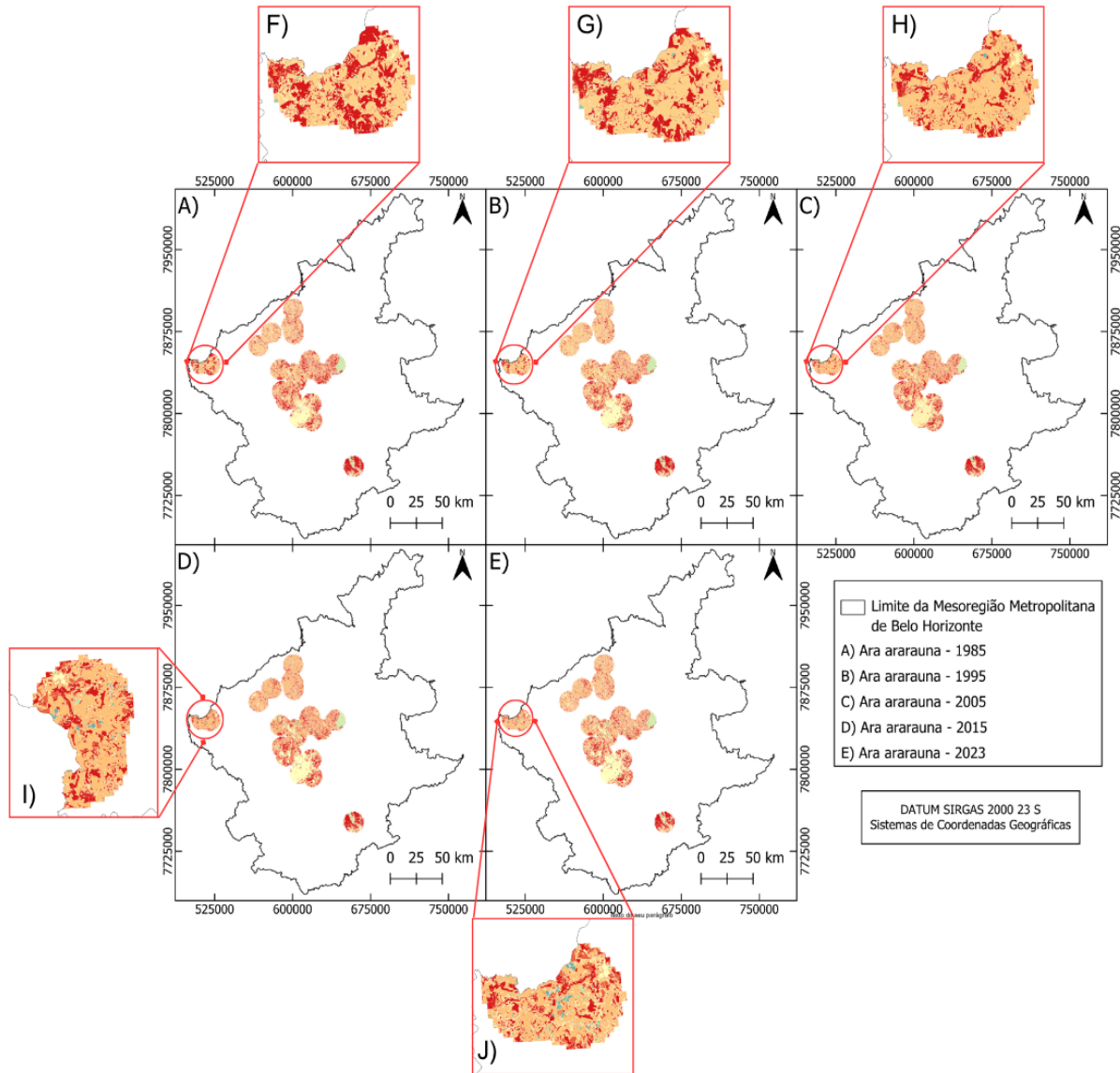
A expansão urbana foi outro fator de destaque, com aumento de 30.289,07 ha (6,37%) em 1985 para 61.293,76 ha (12,89%) em 2023, refletindo o processo de metropolização e crescimento populacional da região. Essas mudanças no uso do solo podem influenciar diretamente a disponibilidade de habitat e os padrões de ocorrência da *Ara ararauna* ao longo do tempo, como ilustrado na Figura 2, que apresenta a distribuição espacial da espécie entre os anos analisados, juntamente com os detalhes ampliados das áreas de maior ocorrência e sua sobreposição com as classes de uso e cobertura do solo.

Tabela 2 - Evolução do uso e cobertura do solo (área em hectares e porcentagem) nas áreas ocupadas por **Ara ararauna** na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte entre 1985 e 2023.

| Descrição | Área em hectares | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 1985 | % | 1995 | % | 2005 | % | 2015 | % | 2023 | % |
| Formação Florestal | 147339,25 | 30,99 | 125475,9 | 26,39 | 122415,84 | 25,75 | 120699,62 | 25,39 | 121197,39 | 25,50 |
| Formação Savânica | 24806,03 | 5,22 | 23679,92 | 4,98 | 25748,15 | 5,42 | 25645,16 | 5,39 | 28419,48 | 5,98 |
| Silvicultura | 526,08 | 0,11 | 1729,86 | 0,36 | 1810,33 | 0,38 | 6141,2 | 1,29 | 7122,94 | 1,50 |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 7548,8 | 1,59 | 5334,18 | 1,12 | 5389,95 | 1,13 | 4666,2 | 0,98 | 5916,39 | 1,24 |
| Formação Campestre | 12350,89 | 2,60 | 12038,25 | 2,53 | 11377,08 | 2,39 | 10993,71 | 2,31 | 10813,8 | 2,27 |
| Pastagem | 162499,22 | 34,18 | 202651,97 | 42,63 | 186348,36 | 39,20 | 172302,7 | 36,24 | 150062,7 | 31,57 |
| Cana | - | 0,00 | - | 0,00 | 50769,9 | 10,68 | 4,39 | 0,00 | 11,98 | 0,00 |
| Mosaico de Usos | 69215,18 | 14,56 | 42501,46 | 8,94 | 51556,05 | 10,84 | 55300,54 | 11,63 | 65879,52 | 13,86 |
| Área Urbanizada | 30289,07 | 6,37 | 42644,94 | 8,97 | 660,84 | 0,14 | 57651,53 | 12,13 | 61293,76 | 12,89 |
| Outras Áreas não Vegetadas | 2693,7 | 0,57 | 943,5 | 0,20 | 12016,97 | 2,53 | 808,57 | 0,17 | 1251,5 | 0,26 |
| Afloramento Rochoso | 12228,45 | 2,57 | 12160,77 | 2,56 | 2594,08 | 0,55 | 11981,94 | 2,52 | 11923,65 | 2,51 |
| Mineração | 1164,81 | 0,25 | 1655,69 | 0,35 | 3158,31 | 0,66 | 3406,87 | 0,72 | 3605,03 | 0,76 |
| Rio, Lago e Oceano | 4445,07 | 0,94 | 4010,09 | 0,84 | 40,17 | 0,01 | 2268,61 | 0,48 | 3052,6 | 0,64 |
| Soja | - | 0,00 | - | 0,00 | 1210,49 | 0,25 | 97,35 | 0,02 | 381,08 | 0,08 |
| Outras Lavouras Temporárias | 122,42 | 0,03 | 269,96 | 0,06 | 273,98 | 0,06 | 3276,88 | 0,69 | 4186,64 | 0,88 |
| Café | 105,89 | 0,02 | 290,77 | 0,06 | 23,97 | 0,01 | 124,24 | 0,03 | 157,73 | 0,03 |
| Outras Lavouras Perenes | 59,63 | 0,01 | 3,28 | 0,00 | - | 0,00 | 24,98 | 0,01 | 100,82 | 0,02 |

Fonte: Autoria própria.

Figura 2 - A) Disposição espacial de *Ara ararauna* em 1985; B) disposição em 1995; C) disposição em 2005; D) disposição em 2015; E) disposição em 2023. F), G), H), I) e J) correspondem aos detalhes ampliados das áreas de ocorrência da espécie em cada ano, sobrepostos ao uso e cobertura do solo, evidenciando as classes presentes nas áreas ocupadas.



Fonte: Autoria própria.

Já para o caso do *Nasua nasua* na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte entre 1985 e 2023 apresentou mudanças significativas (Tabela 3). Observa-se que a Formação Florestal, classe predominante ao longo de todo o período, apresentou redução de área, passando de 81.797,59 ha (41,56%) em 1985 para 71.406,39 ha (36,28%) em 2023. Pastagem também apresentou redução proporcional, de 20,72% para 19,68%, enquanto a Área Urbanizada praticamente dobrou, de 12,71% em 1985 para 18,63% em 2023, refletindo o intenso processo de urbanização regional.

Tabela 3 - Evolução do uso e cobertura do solo (área em hectares e porcentagem) nas áreas ocupadas por *Nasua nasua* na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte entre 1985 e 2023.

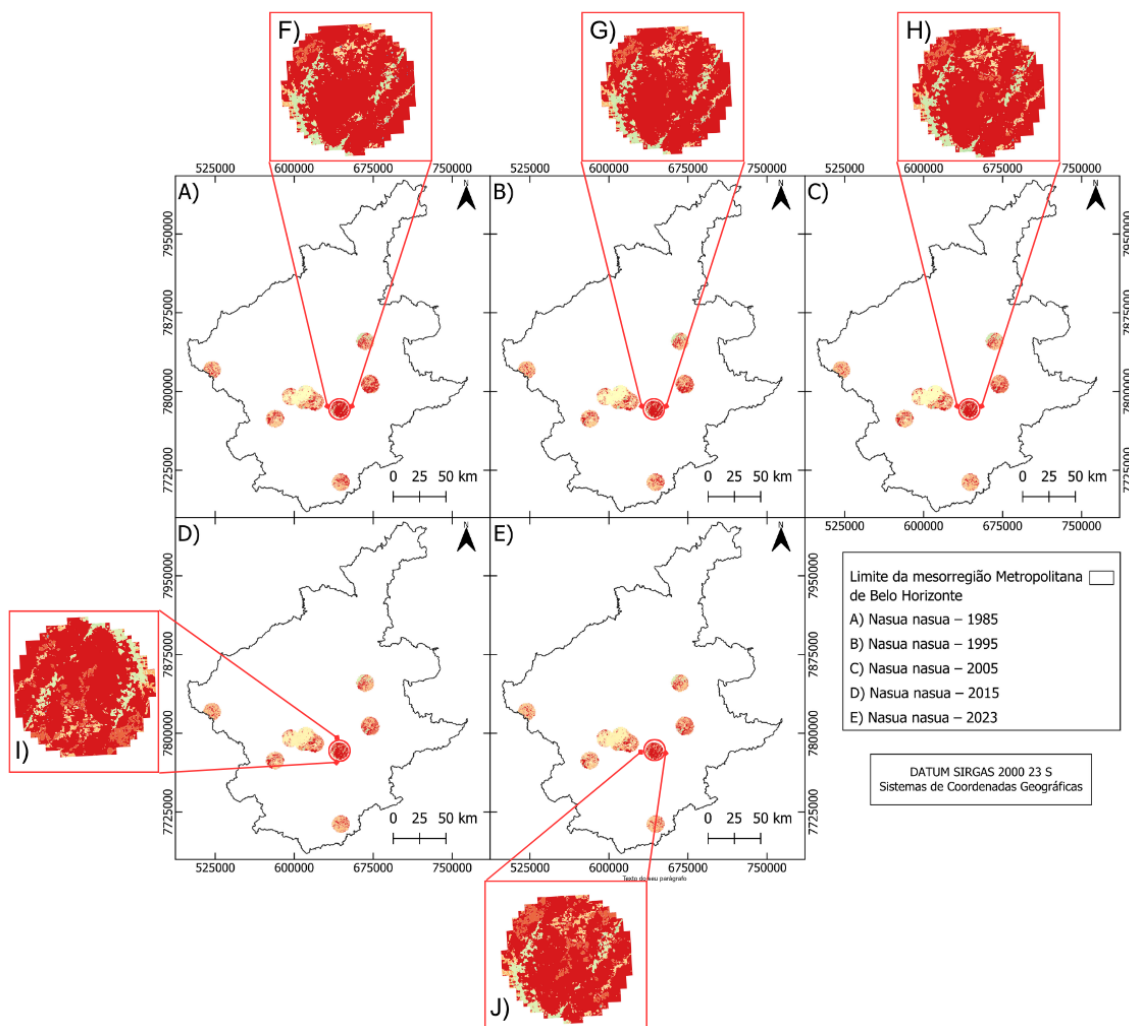
| Descrição | Área em hectares | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 1985 | % | 1995 | % | 2005 | % | 2015 | % | 2023 | % |
| Formação Florestal | 81797,59 | 41,56 | 76158,21 | 38,70 | 73952,84 | 37,58 | 72116,31 | 36,64 | 71406,39 | 36,28 |
| Formação Savânica | 2928,92 | 1,49 | 2752,81 | 1,40 | 2400,32 | 1,22 | 2525,06 | 1,28 | 1875,07 | 0,95 |
| Silvicultura | 1375,46 | 0,70 | 2689,95 | 1,37 | 3886,15 | 1,97 | 5841,43 | 2,97 | 6359,75 | 3,23 |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 574,23 | 0,29 | 402,14 | 0,20 | 321,74 | 0,16 | 313,22 | 0,16 | 388,11 | 0,20 |
| Formação Campestre | 9704,34 | 4,93 | 9267,54 | 4,71 | 9079,76 | 4,61 | 8941,66 | 4,54 | 8565,77 | 4,35 |
| Pastagem | 40781,17 | 20,72 | 47658,95 | 24,22 | 43761,36 | 22,24 | 40593,15 | 20,63 | 38738,66 | 19,68 |
| Mosaico de Usos | 24207,19 | 12,30 | 17303,34 | 8,79 | 19673,07 | 10,00 | 19647,78 | 9,98 | 20268,45 | 10,30 |
| Área Urbanizada | 25016,7 | 12,71 | 30011,83 | 15,25 | 33288,26 | 16,91 | 35523,45 | 18,05 | 36665,41 | 18,63 |
| Outras Áreas não Vegetadas | 1075,62 | 0,55 | 477,72 | 0,24 | 299,62 | 0,15 | 298,94 | 0,15 | 534,96 | 0,27 |
| Afloramento Rochoso | 6640,71 | 3,37 | 6559,26 | 3,33 | 6516,43 | 3,31 | 6507,9 | 3,31 | 6475,89 | 3,29 |
| Mineração | 907,81 | 0,46 | 1580,11 | 0,80 | 2211,39 | 1,12 | 3282,05 | 1,67 | 3957 | 2,01 |
| Rio, Lago e Oceano | 1415,55 | 0,72 | 1677,4 | 0,85 | 1145,96 | 0,58 | 922,77 | 0,47 | 1057,15 | 0,54 |
| Outras Lavouras Temporárias | 4,11 | 0,00 | 8,33 | 0,00 | 39,13 | 0,02 | 137,26 | 0,07 | 375,48 | 0,19 |
| Café | 268,16 | 0,14 | 253,14 | 0,13 | 225,04 | 0,11 | 149,85 | 0,08 | 128,2 | 0,07 |
| Outras Lavouras Perenes | 105,43 | 0,05 | 1,76 | 0,00 | 1,93 | 0,00 | 1,93 | 0,00 | 5,62 | 0,00 |

Fonte: Autoria própria.

Em contrapartida, a Silvicultura apresentou aumento expressivo, passando de 1.375,46 ha (0,70%) em 1985 para 6.359,75 ha (3,23%) em 2023, o que pode indicar conversão de áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa ou pastagem em áreas produtivas de manejo florestal. O Mosaico de Usos, por sua vez, manteve-se relativamente estável em área absoluta, mas apresentou redução percentual devido ao aumento das áreas urbanizadas e de silvicultura.

A distribuição espacial da ocorrência de *Nasua nasua* ao longo do período analisado pode ser observada na Figura 3, que apresenta a disposição dos registros da espécie entre 1985 e 2023, juntamente com os detalhes ampliados das áreas de maior ocorrência e sua sobreposição com as classes de uso e cobertura do solo.

Figura 3 - A) Disposição espacial de *Nasua nasua* em 1985; B) disposição em 1995; C) disposição em 2005; D) disposição em 2015; E) disposição em 2023. F), G), H), I) e J) correspondem aos detalhes ampliados das áreas de ocorrência da espécie em cada ano, sobrepostos ao uso e cobertura do solo, evidenciando as classes presentes nas áreas ocupadas.



Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises demonstraram uma redução significativa das áreas de vegetação nativa, incluindo formações florestais e savânicas, ao longo do período de 1985 a 2023 dentro das áreas de vida potenciais das espécies frugívoras estudadas. Paralelamente, observou-se um aumento expressivo das áreas antrópicas, especialmente das áreas urbanizadas, refletindo a

expansão metropolitana de Belo Horizonte, bem como da silvicultura e da agricultura, indicando a intensificação dos usos produtivos da terra.

As pastagens permaneceram como classe dominante em várias regiões, embora tenham apresentado variações percentuais ao longo das décadas. Nesse contexto, a hipótese inicial foi confirmada, uma vez que a redução das formações vegetais naturais dentro dos territórios potenciais evidencia a perda de habitat para as espécies analisadas, além de indicar a possível fragmentação das áreas florestais, com consequente redução da conectividade e da continuidade dos corredores ecológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGPV e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo fomento à formação e à pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- BEISIEGEL, Beatriz *et al.* Avaliação do risco de extinção do cachorro-do-mato *Cerdocyon thous* (Linnaeus, 1766) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 138–145, 2013.
- BRIGHTSMITH, Donald *et al.* Satellite telemetry reveals complex migratory movement patterns of two large macaw species in the western Amazon basin. **Avian Conservation and Ecology**, [s. l.], v. 16, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.ace-eco.org/vol16/iss1/art14/>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- CALDEIRA, Charly; PARRÉ, José Luiz. DIVERSIFICAÇÃO AGROPECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL NO BIOMA CERRADO. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 344–359, 2020.
- CAMPOS, Wanusa Helena *et al.* Contribuição da fauna silvestre em projetos de restauração ecológica no Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s. l.], v. 32, n. 72, p. 429–429, 2012.
- CASTRO, Carla Soraia Soares de. Tamanho da área de vida e padrão de uso do espaço em grupos de sagüis, *Callithrix jacchus* (Linnaeus) (Primates, Callitrichidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, [s. l.], v. 20, p. 91–96, 2003.
- CERQUEIRA, Marizete Chaves *et al.* Fragmentação da paisagem no entorno e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes das Geraizeiras, Minas Gerais. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 31, p. 607–633, 2021.
- CHAZDON, Robin L. *et al.* When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. **Ambio**, [s. l.], v. 45, n. 5, p. 538–550, 2016.

- FERNANDES, Antoniel Silva; CALDEIRA, Altino Barbosa. ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS VERDES DE BELO HORIZONTE (MG). **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 73–92, 2016.
- FIUZA, Mônica Couto. **Ciclo anual, desenvolvimento da plumagem e migração parcial do sabiá-poca (*Turdus amaurochalinus*) no limite sul da Mata Atlântica**. 2024. 42 f. Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/289213>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- HOBBS, Richard J. *et al.* Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 1–7, 2006.
- JAKOVAC, Catarina C. *et al.* The role of land-use history in driving successional pathways and its implications for the restoration of tropical forests. **Biological Reviews**, [s. l.], v. 96, n. 4, p. 1114–1134, 2021.
- LASCHEFSKI, Klemens; COSTA, Heloisa Soares de Moura. Segregação social como externalização de conflitos ambientais: a elitização do meio ambiente na APA-Sul, Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 11, p. 307–322, 2008.
- MAGALHÃES, Danilo Marques de *et al.* Análise de transformação da paisagem por pressão antrópica em Santana do Riacho | Laboratório de Geoprocessamento. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2010, Aracaju, SE. **XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia**. Aracaju, SE: [s. n.], 2010. p. 1450–1458. Disponível em: <https://www.geoproea.com.br/publicacoes/2010/analise-de-transformacao-da-paisagem-por-pressao-antropica-em-santana-do-riacho-mg-identificacao-de-fragilidades-ambientais-com-o-apoio-de-classificacao-de-imagens-de-satelite-e-analise-de-multicr>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- MATUZAK, Greg D.; BEZY, M. Bernadette; BRIGHTSMITH, Donald J. Foraging Ecology Of Parrots In A Modified Landscape: Seasonal Trends And Introduced Species. **The Wilson Journal of Ornithology**, [s. l.], v. 120, n. 2, p. 353–365, 2008.
- MUELLER, Thomas *et al.* Large frugivorous birds facilitate functional connectivity of fragmented landscapes. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 684–692, 2014.
- PAULA, Rogério Cunha de *et al.* Avaliação do risco de extinção do lobo-guará *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 146–159, 2013.
- SOUSA, Gustavo Mascarenhas. O ICMS ecológico de Minas Gerais na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. **Principia: Caminhos da Iniciação Científica**, [s. l.], v. 23, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/principia/article/view/40514>. Acesso em: 25 jun. 2025.

WRIGHT, S. Joseph; HERNANDÉZ, Andrés; CONDIT, Richard. The Bushmeat Harvest Alters Seedling Banks by Favoring Lianas, Large Seeds, and Seeds Dispersed by Bats, Birds, and Wind. **Biotropica**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 363–371, 2007.

CAPÍTULO VI

MINERAÇÃO E GEOTECNOLOGIAS: IMPACTOS E REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO SAVÂNICA

MINING AND GEOTECHNOLOGIES: IMPACTS AND REGENERATION OF SAVANNA VEGETATION

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-6

Keilane Alves de Souza ¹
Maria José de Holanda Leite ²

¹ Graduada em engenharia Florestal. Universidade Federal de Alagoas.

² Doutora em Ciências Florestais. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal.

RESUMO

A mineração é uma atividade econômica primordial, essencial para o desenvolvimento tecnológico e a transição para energias limpas, porém, sua execução acarreta profundos impactos socioambientais, especialmente em ecossistemas sensíveis como a Caatinga. Este trabalho objetivou analisar a integração entre o uso de geotecnologias e práticas sustentáveis na mitigação de danos e na promoção da resiliência das formações savânicas no estado de Alagoas. A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica integrativa, de natureza qualitativa e exploratória, abrangendo o período de 2003 a 2024. Os resultados indicam que a supressão vegetal para extração mineral compromete serviços ecossistêmicos e a saúde de comunidades locais, mas que o emprego de ferramentas como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é eficaz no monitoramento da dinâmica florestal. Conclui-se que a regeneração da vegetação savânica em áreas mineradas depende de uma governança rigorosa, intervenções ecológicas ativas e do suporte tecnológico para transformar dados espaciais em ações concretas de restauração ambiental no semiárido.

Palavras-chave: Semiárido. Sensoriamento Remoto. Restauração Ecológica.

ABSTRACT

Mining is a primary economic activity, essential for technological development and the transition to clean energy; however, its execution entails profound socio-environmental impacts, especially in sensitive ecosystems such as the Caatinga. This study aimed to analyze the integration between the use of geotechnologies and sustainable practices in mitigating damage and promoting the resilience of savanna formations in the state of Alagoas. The methodology consisted of an integrative bibliographic review, qualitative and exploratory in nature, covering the period from 2003 to 2024. The results indicate that vegetation suppression for mineral extraction compromises ecosystem services and the health of local communities, but the use of tools such as Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) is effective in monitoring forest dynamics. It is concluded that the regeneration of savanna vegetation in mined areas depends on rigorous governance, active ecological interventions, and technological support to transform spatial data into concrete actions for environmental restoration in the semi-arid region.

Keywords: Semi-arid. Remote Sensing. Ecological Restoration.

1. INTRODUÇÃO

A mineração estabelece-se como uma das atividades econômicas mais remotas e fundamentais da humanidade, servindo de alicerce para o progresso industrial e a transição para tecnologias verdes (Monteiro, 2005; IEA, 2021). No entanto, o vigor econômico do setor frequentemente contrasta com severos desafios socioambientais, especialmente em biomas sensíveis como a Caatinga.

A supressão vegetal para a extração mineral compromete serviços ecossistêmicos e altera modos de vida de comunidades tradicionais (Maso; Isaguirre-Torres, 2024; Nascimento; Bursztyn, 2010). Diante da necessidade de conciliar exploração e preservação, o uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), surge como ferramenta estratégica para monitorar a dinâmica florestal e guiar a recuperação de áreas degradadas (Goodchild, 2009; Oliveira; Carvalho, 2024).

Este trabalho buscou analisar como a integração entre tecnologia e práticas sustentáveis pode mitigar os danos da mineração e favorecer a resiliência das formações savânicas em Alagoas.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa e caráter exploratório. O levantamento de dados foi realizado por meio de consultas a bases científicas (Google Acadêmico, Scielo e repositórios institucionais), utilizando descritores como “Mineração”, “Geotecnologias”, “Caatinga” e “Impactos Socioambientais”.

Foram selecionados artigos, relatórios de órgãos internacionais (ONU, IEA) e livros publicados entre 2003 e 2024. A análise seguiu o método de revisão integrativa, organizando o conteúdo em quatro eixos temáticos: o histórico global da mineração, os impactos sociais gerados pela atividade, o papel das geotecnologias na análise espacial e a dinâmica de regeneração da vegetação savânica em áreas mineradas no estado de Alagoas.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. HISTÓRICO DO USO DA MINERAÇÃO NO MUNDO

A mineração configura-se como uma das atividades econômicas mais antigas e relevantes do mundo, sendo fundamental para o desenvolvimento industrial, tecnológico e

urbano (Monteiro, 2005). Sua atuação abrange desde a extração de metais preciosos para fins artísticos e militares até a obtenção de minerais essenciais para a produção de eletrônicos (Euclides et al., 2021), fornecendo ainda insumos críticos para os setores de energia e para as tecnologias verdes, o que movimenta trilhões de dólares anualmente (Tolmasquim, 2012) e a consolida como um pilar econômico estratégico em escala global.

Nos últimos anos, a demanda por minerais estratégicos, como lítio, cobalto e níquel, tem sido impulsionada pelo avanço das tecnologias verdes, incluindo veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia e energias renováveis (ONU, 2024), o que evidencia a transição energética global, a qual requer cadeias de suprimentos minerais complexas e confiáveis (IEA, 2021). Contudo, esta dependência econômica expõe os países a flutuações nos preços internacionais, gerando vulnerabilidade econômica e riscos de crises cíclicas em períodos de instabilidade de mercado (ONU, 2024).

Paralelamente, a mineração tradicional frequentemente gera impactos ambientais significativos, incluindo degradação do solo, poluição hídrica e atmosférica (Nascimento; Bursztyn, 2010), além de consumo elevado de água e energia e perda de biodiversidade, afetando diretamente formações vegetais frágeis, como a vegetação savânica do semiárido brasileiro (Teles; Hurtado, 2023).

Diante desses desafios, a mineração sustentável surge como paradigma alternativo, que visa conciliar a exploração econômica com a preservação socioambiental. Entre suas práticas, destacam-se a redução de resíduos, a recuperação de áreas degradadas, a proteção de ecossistemas frágeis e a mitigação de impactos sociais, com ênfase no manejo adequado de formações savânicas (Paixão et al., 2019).

3.2. IMPACTOS SOCIAIS GERADOS PELOS EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS

As mineradoras exercem profunda influência social, especialmente em regiões onde a atividade é intensiva (Cavinato; Capitani, 2023). Os empreendimentos minerários frequentemente desencadeiam transformações demográficas, conflitos territoriais e alterações nos modos de vida tradicionais, afetando comunidades locais, indígenas e quilombolas (Maso; Isaguirre-Torres, 2024).

No Brasil, estados como Minas Gerais, Pará, Roraima e Alagoas ilustram contextos em que a expansão minerária resultou em deslocamentos forçados, degradação ambiental e violações de direitos trabalhistas (Alves; Sol; Modena, 2020). A presença desses

empreendimentos frequentemente gera uma tensão entre a exploração econômica e a manutenção da qualidade de vida das populações adjacentes, o que exige reassentamentos que podem comprometer laços culturais essenciais (Santos, 2016).

Além dos impactos diretos, a poluição atmosférica e a poeira geradas pela extração e transporte de minérios estão associadas ao aumento de doenças respiratórias (Mota et al., 2022). Estudos apoiados pela Organização Mundial da Saúde indicam até 30% mais de incidência de problemas pulmonares em comunidades próximas a essas atividades (Saraiva et al., 2024).

Para minimizar esses efeitos, recomenda-se a adoção de políticas públicas robustas, incluindo consultas prévias às comunidades, planos de reassentamento adequados, investimentos em desenvolvimento local e fiscalização rigorosa do setor (Pessoas et al., 2019). A integração do planejamento social e ambiental nas operações minerárias mostra-se, portanto, essencial para reduzir impactos e promover o desenvolvimento sustentável, com especial atenção à proteção de formações vegetais sensíveis, como as savânicas.

3.3. GEOTECNOLOGIAS (CONTEXTO DA MINERAÇÃO)

As geotecnologias emergiram como um campo interdisciplinar essencial no século XXI, integrando conhecimentos de geografia, ciência da computação e engenharia para a análise espacial. Essa integração transformou a coleta, o processamento e a interpretação de dados geoespaciais, permitindo o mapeamento e o monitoramento ambiental com alta precisão (Goodchild, 2009). Historicamente, o seu desenvolvimento remonta aos primeiros sistemas de cartografia digital do século passado, evoluindo para plataformas com inteligência artificial e sistemas de informações geográficas avançados aplicados à análise territorial (Hamada, 2021).

Ferramentas como o sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica (SIG) e os drones revolucionaram diversas áreas, incluindo meio ambiente, planejamento urbano (Ramos; Alves; Esteves, 2024), agricultura de precisão e mineração, oferecendo eficiência, redução de impactos ambientais e suporte a decisões estratégicas (Oliveira; Carvalho, 2024).

Na prática, o sensoriamento remoto permite obter imagens detalhadas do território, enquanto os SIG possibilitam analisar, cruzar e modelar informações georreferenciadas. Essa sinergia é fundamental para identificar áreas degradadas (Lima; Loureiro, 2023), monitorar

mudanças na cobertura vegetal e avaliar estratégias de restauração ecológica, incluindo a regeneração de vegetação savânica (Alves; Lima; Veloso, 2022).

Assim, estudos recentes mostram que essas geotecnologias contribuem diretamente para a preservação e modelagem de espécies de plantas, determinando um espaço multidimensional de vários nichos ecológicos, como o clima e as interações bióticas (Lima; Santos, 2024). Por fim, esses dados espaciais permitem a análise contínua e histórica de impactos, garantindo suporte técnico para políticas públicas e para o planejamento territorial ambiental (Santos; Lima; Santana, 2024).

3.4. DINÂMICA FLORESTAL E VEGETAÇÃO SAVÂNICA DA CAATINGA EM ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO EM ALAGOAS

O bioma Caatinga apresenta adaptações evolutivas ao semiárido, incluindo tolerância à seca, sazonalidade climática intensa e capacidade de regeneração após perturbações ambientais (Silva; Castro; Cruz, 2024). Essa resiliência é fundamental para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, sendo observável tanto na vegetação arbórea quanto nas formações savânicas, as quais são caracterizadas por estrato herbáceo-arbustivo, árvores dispersas e espécies adaptadas à escassez hídrica.

Em áreas mineradas, a exploração mineral provoca fragmentação de habitats, perda de cobertura vegetal e alterações na ciclagem de nutrientes, afetando processos ecológicos essenciais, como a sucessão natural e a manutenção da fauna e flora nativas (Victor; Alcandra, 2017). Estudos indicam que a regeneração da vegetação ocorre de forma heterogênea: regiões próximas às minas apresentam recomposição lenta e baixa diversidade, enquanto áreas periféricas ou protegidas exibem recuperação mais rápida e maior riqueza de espécies, incluindo a recuperação parcial da vegetação savânica.

Estudos no Cerrado brasileiro evidenciam a heterogeneidade na recuperação de áreas mineradas. Corrêa et al. (2018) observaram que a regeneração natural em áreas exploradas resultou em uma cobertura vegetal lenta (0,8% ao ano) e baixa diversidade, devido às condições adversas do substrato. Em contraste, áreas que receberam intervenções ativas, como a introdução de herbáceas nativas junto com árvores, não apenas aceleraram a formação da cobertura verde, mas também resultaram em uma comunidade vegetal mais diversificada e menos propensa à invasão por espécies exóticas, em comparação com métodos menos diversificados.

A sucessão ecológica nessas áreas depende da intensidade e duração da perturbação, da disponibilidade de água, da fertilidade do solo e da presença de espécies pioneiras adaptadas ao semiárido (Gonçalves, 2022). Espécies como *Mimosa caesalpinifolia*, *Cereus jamacaru*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Schinopsis brasiliensis* atuam como facilitadoras da regeneração, promovendo a estabilização do solo (Embrapa, 2018), além de sombreamento e fornecimento de matéria orgânica, o que favorece o estabelecimento de espécies secundárias e arbóreas (Cardoso et al., 2012).

O uso de geotecnologias tem se mostrado essencial para mapear mudanças na cobertura vegetal, quantificar a regeneração e identificar áreas prioritárias para restauração, fornecendo dados para o manejo adaptativo e o monitoramento contínuo (Oliveira et al., 2015; Sena; Rocha, 2022). A proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e matas ciliares é crucial para assegurar a regeneração ecológica, manter serviços ambientais essenciais e garantir resiliência frente às pressões antrópicas (Rodrigues; Passos; Fontana, 2021).

Por sua vez, a participação comunitária e a educação ambiental fortalecem a sustentabilidade das ações de recuperação (Jacobi, 2003), pois incentivam práticas de manejo compatíveis com a preservação ambiental e promovem a conscientização social sobre os impactos da mineração (Nava; Pinto; Pereira, 2023).

A dinâmica florestal da Caatinga em áreas mineradas de Alagoas deve, portanto, ser abordada considerando a resiliência ecológica, a sucessão natural, a resposta adaptativa da vegetação e a recuperação da vegetação savânica, o que oferece suporte teórico e prático para estratégias de restauração, mitigação de impactos socioambientais e manejo sustentável do território.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do referencial teórico demonstra que, embora a mineração seja indispensável à economia global e à transição energética, sua execução demanda uma governança rigorosa para evitar o colapso de ecossistemas locais. Em Alagoas, a vegetação savânica da Caatinga revela uma resiliência notável, porém dependente de intervenções ativas e proteção de áreas de preservação para uma sucessão ecológica eficaz.

As geotecnologias provaram ser aliadas vitais, permitindo uma vigilância precisa sobre a cobertura vegetal e o suporte técnico necessário para políticas públicas. Conclui-se que o

futuro da mineração na região depende da transição para um modelo sustentável que priorize a saúde das populações adjacentes e a integridade biótica do semiárido, transformando o monitoramento tecnológico em ações concretas de restauração ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. S.; SOL, N. S. A.; MODENA, C. M. Mineração e saúde: uma revisão integrativa. **Saúde e Sociedade**, v. 29, n. 3, 2020.
- ALVES, M. C.; LIMA, R. B.; VELOSO, G. V. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da vegetação savânica. **Revista Brasileira de Geomática**, 2022.
- CARDOSO, E. et al. Espécies facilitadoras na recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, 2012.
- CAVINATO, M.; CAPITANI, D. H. Influência social e econômica da mineração em regiões intensivas. **Estudos Urbanos**, 2023.
- CORRÊA, R. S. et al. Regeneração natural e intervenções ativas em áreas mineradas do Cerrado. **Journal of Environmental Management**, 2018.
- EMBRAPA. **Espécies arbóreas para recuperação de solos no Semiárido**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- EUCLYDES, A. C. P. et al. Minerais para eletrônicos e o desenvolvimento tecnológico. **Geologia USP**, 2021.
- GONÇALVES, L. F. Sucessão ecológica em ambientes semiáridos. **Caderno de Geociências**, 2022.
- GOODCHILD, M. F. Geographic information systems and science. **International Journal of Geographical Information Science**, 2009.
- HAMADA, S. Inteligência artificial e SIG na análise territorial. **Tecnologia & Espaço**, 2021.
- IEA (International Energy Agency). **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions**. Paris: IEA, 2021.
- JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, 2003.
- LIMA, A. S.; LOUREIRO, B. Identificação de áreas degradadas via SIG. **Revista de Gestão Ambiental**, 2023.
- LIMA, R. B.; SANTOS, M. L. Geotecnologias e nichos ecológicos na preservação de plantas. **Ecologia Aplicada**, 2024.
- MASO, T. F.; ISAGUIRRE-TORRES, K. R. Conflitos territoriais e modos de vida tradicionais frente à mineração. **Direito e Sociedade**, 2024.

- MONTEIRO, M. A. Mineração: pilar estratégico da economia mundial. **Revista Brasileira de Mineração**, 2005.
- MOTA, L. C. et al. Poluição atmosférica e impactos na saúde respiratória em cidades mineradoras. **Jornal de Pneumologia**, 2022.
- NASCIMENTO, E. P.; BURSZTYN, M. Desenvolvimento sustentável e mineração tradicional. **Estudos Avançados**, 2010.
- NAVA, G.; PINTO, R.; PEREIRA, S. Educação ambiental no setor minerário. **Revista de Extensão**, 2023.
- OLIVEIRA, F. G.; CARVALHO, R. H. Drones e sensoriamento remoto na mineração moderna. **Geotecnologias em Foco**, 2024.
- OLIVEIRA, J. P. et al. Mapeamento da cobertura vegetal e manejo adaptativo. **Sensoriamento Remoto Brasil**, 2015.
- ONU (Organização das Nações Unidas). **Relatório sobre Minerais Críticos e Transição Energética**. Nova York: ONU, 2024.
- PAIXÃO, R. S. et al. Práticas de mineração sustentável e manejo de savanas. **Sustentabilidade em Debate**, 2019.
- PESSOAS, A. M. et al. Políticas públicas e fiscalização no setor de mineração. **Revista de Administração Pública**, 2019.
- RAMOS, T.; ALVES, L.; ESTEVES, J. Planejamento urbano e ferramentas SIG. **Revista de Engenharia Civil**, 2024.
- RODRIGUES, M.; PASSOS, F.; FONTANA, C. Importância das APPs na resiliência ambiental. **Ecossistemas**, 2021.
- SANTOS, J. L. Reassentamentos e laços culturais em áreas de mineração. **Antropologia Social**, 2016.
- SANTOS, R. L.; LIMA, R. B.; SANTANA, W. Dados espaciais e planejamento territorial ambiental. **Geografia e Planejamento**, 2024.
- SARAIVA, M. et al. Incidência de doenças pulmonares em comunidades mineradoras. **Relatório OMS/Saúde Ambiental**, 2024.
- SENA, K.; ROCHA, M. Monitoramento contínuo da regeneração vegetal. **Biologia da Conservação**, 2022.
- SILVA, A. C.; CASTRO, B. R.; CRUZ, L. Resiliência da Caatinga e adaptações ao semiárido. **Revista Nordestina de Biologia**, 2024.
- TELES, G. S.; HURTADO, A. L. Impactos da mineração na vegetação savânica do semiárido. **Biodiversidade Brasileira**, 2023.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia e Economia: O papel dos minerais**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

VICTOR, H.; ALCANDRA, P. Fragmentação de habitats em áreas mineradas. **Ecologia Regional**, 2017.

CAPÍTULO VII

MICROPLÁSTICOS NA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS

MICROPLASTICS IN THE COSMETICS INDUSTRY: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND SUSTAINABLE ALTERNATIVES

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-7

Ziane Maria Ferreira Menezes¹
Gisele Cristina Valle Iulianelli²
Paulo Sergio Rangel Cruz da Silva³
Luciana Macedo Brito⁴

¹ Graduanda do Curso de Farmácia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

² Professora Adjunta do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

³ Professor Adjunto do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

⁴ Professora Associada do Departamento de Ciências Farmacêuticas - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

RESUMO

O uso de microplásticos em produtos cosméticos tem despertado crescente preocupação devido aos seus potenciais impactos ambientais e aos possíveis riscos à saúde humana. Esses materiais são amplamente empregados em formulações cosméticas por apresentarem propriedades tecnológicas importantes, atuando como agentes esfoliantes, formadores de filme, modificadores reológicos e estabilizantes de textura. No entanto, a persistência desses polímeros no ambiente, associada à sua capacidade de se acumular em ecossistemas aquáticos e potencialmente em organismos vivos, tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, este capítulo apresenta uma revisão da literatura científica sobre a aplicação de polímeros biodegradáveis como substitutos de microplásticos em produtos cosméticos. São discutidas alternativas baseadas em biopolímeros e polímeros de origem renovável aplicados tanto em materiais de embalagem quanto em ingredientes de formulação, especialmente microesferas utilizadas em produtos esfoliantes e de limpeza facial. Entre os materiais investigados destacam-se poli(ácido láctico), poli(hidroxicanoatos), derivados de celulose, polissacarídeos naturais como quitosana e alginato, além de poliésteres sintéticos biodegradáveis. Estudos experimentais indicam que esses materiais podem apresentar propriedades mecânicas e funcionais comparáveis às dos polímeros convencionais utilizados na indústria

cosmética. Entretanto, desafios relacionados à escalabilidade industrial, custo de produção e estabilidade das formulações ainda precisam ser superados para viabilizar sua aplicação em larga escala e promover práticas mais sustentáveis no setor cosmético.

Palavras-chave: Microplásticos. Cosméticos. Biopolímeros. Sustentabilidade. Microesferas de biopolímeros.

ABSTRACT

The use of microplastics in cosmetic products has raised increasing concern due to their potential environmental impacts and possible risks to human health. These materials are widely used in cosmetic formulations because of their technological properties, acting as exfoliating agents, film formers, rheological modifiers, and texture stabilizers. However, the persistence of these polymers in the environment, together with their ability to accumulate in aquatic ecosystems and potentially in living organisms, has encouraged the search for more sustainable alternatives. In this context, this chapter presents a review of the scientific literature on the application of biodegradable polymers as substitutes for microplastics in cosmetic products. Alternatives based on biopolymers and renewable polymers are discussed, considering their use both in packaging materials and as formulation ingredients, particularly microbeads used in exfoliating and

facial cleansing products. Among the materials investigated, poly(lactic acid), polyhydroxyalkanoates, cellulose derivatives, natural polysaccharides such as chitosan, alginate, and biodegradable synthetic polyesters stand out as promising candidates. Experimental studies indicate that these materials can exhibit mechanical and functional properties comparable to those of conventional polymers currently used in the

cosmetic industry. Nevertheless, challenges related to industrial scalability, production costs, and formulation stability still need to be addressed in order to enable their large-scale application and support the transition toward more sustainable practices in the cosmetic sector.

Keywords: Microplastics. Cosmetics. Biopolymers. Sustainability. Biopolymer Microbeads.

1. INTRODUÇÃO

Os microplásticos (MPs) tem se tornado uma preocupação significativa para a saúde humana e para o meio ambiente. Entre as fontes mais recentes de contaminação por microplásticos em seres humanos e nos ecossistemas destaca-se a utilização de microesferas plásticas em produtos cosméticos (GUERRANTI *et al.*, 2019).

Os polímeros desempenham diferentes funções tecnológicas em formulações cosméticas, atuando como agentes formadores de filme, esfoliantes e modificadores reológicos, contribuindo para o ajuste da viscosidade e da textura dos produtos (ROCHA *et al.*, 2020). Em razão dessas propriedades, esses materiais têm sido amplamente incorporados em diversas formulações cosméticas, incluindo cremes e loções corporais, desodorantes, produtos de limpeza facial, tinturas capilares, cremes dentais, xampus, bases de maquiagem, máscaras para cílios, esmaltes e protetores solares (LESLIE *et al.*, 2022).

De acordo com relatórios da *Plastic Soup Foundation*, os polímeros (potenciais formadores de microplásticos) podem ser identificados em diferentes produtos cosméticos, com percentuais de ocorrência de aproximadamente 60% em cremes faciais, 71% em xampus, 80% em desinfetantes para as mãos e 83% em protetores solares (PLASTIC SOUP FOUNDATION, s.d.).

Materiais plásticos amplamente utilizados na indústria cosmética, tanto em formulações quanto em embalagens, são predominantemente baseados em polímeros sintéticos, como polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliestireno (PS). Esses materiais podem originar microplásticos por duas vias principais: (i) como microplásticos primários, quando são intencionalmente produzidos em escala micrométrica (tipicamente <5 mm) para desempenhar funções específicas nas formulações, como esfoliação ou modificação sensorial; e (ii) como microplásticos secundários, resultantes da fragmentação e degradação de materiais plásticos maiores ao longo do tempo, especialmente no caso de embalagens

descartadas no ambiente (COLE *et al.*, 2011; European Chemicals Agency, 2019; United Nations Environment Programme, 2021; Ellen MacArthur Foundation, 2016).

Entre esses materiais, o polietileno é o mais amplamente empregado em formulações cosméticas, geralmente na forma de partículas esféricas, utilizadas como agentes abrasivos em produtos esfoliantes para a pele. Além de sua função tecnológica nas formulações, estudos indicam que os microplásticos podem atuar como vetores de contaminantes ambientais, uma vez que apresentam capacidade de adsorver poluentes presentes no meio, incluindo metais pesados como alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), manganês (Mn) e chumbo (Pb). Esses elementos podem aderir à superfície das partículas plásticas, potencializando o transporte e a dispersão desses contaminantes no ambiente (CUBAS, 2022).

Durante o uso ou a fabricação de produtos cosméticos, os microplásticos podem ser liberados nos sistemas de esgoto doméstico ou industrial, alcançando corpos d'água continentais por meio das redes de drenagem. Embora as estações de tratamento de efluentes contribuam para a remoção parcial dessas partículas, uma fração significativa consegue atravessar os sistemas de filtração devido às suas dimensões microscópicas. Como consequência, esses microplásticos podem alcançar ambientes aquáticos naturais, sendo transportados até ecossistemas marinhos, como mares e oceanos (ZHOU *et al.*, 2023).

O uso cotidiano desses produtos contribui para a liberação contínua de microplásticos no ambiente, com estimativas indicando a emissão média de aproximadamente 2,4 mg de MPs por pessoa por dia. Estudos indicam que os microplásticos primários podem representar entre 0,1% e 1,5% do total de detritos plásticos presentes no ambiente marinho, considerando apenas a região do Mar do Norte. Em escala global, esse percentual tende a ser significativamente maior, dada a ampla utilização de produtos que contêm essas partículas (LEI *et al.*, 2017).

No Brasil, pesquisas também têm evidenciado a presença de microplásticos em diferentes ecossistemas aquáticos. Um estudo conduzido no Pantanal identificou partículas de MPs em amostras de água, demonstrando que esse tipo de contaminação já está presente em importantes ambientes naturais do país (VARGAS *et al.*, 2022).

O corpo humano também está sujeito à exposição a microplásticos, principalmente por meio da ingestão de alimentos contaminados com essas partículas. Estimativas indicam que, considerando os hábitos alimentares, uma pessoa pode ingerir entre 39.000 e 52.000

partículas de microplásticos por ano. Uma vez ingeridas, essas partículas podem alcançar o sistema gastrointestinal, podendo desencadear respostas inflamatórias e alterações na microbiota intestinal. A inalação é uma via significativa de exposição a microplásticos, especialmente para partículas respiráveis (<10 µm) e nanoplásticos, que podem se depositar no trato respiratório inferior e induzir respostas inflamatórias e oxidativas (COX *et al.*, 2019; PRATA *et al.*, 2020).

Além da ingestão e da inalação, o contato dérmico com microplásticos impacta a saúde humana principalmente por efeitos locais, incluindo irritação, interação com folículos e transporte de contaminantes, enquanto a penetração sistêmica é limitada em pele íntegra. Nanoplásticos podem apresentar maior reatividade biológica, especialmente em condições de barreira comprometida (YEE *et al.*, 2021). A pele é composta por três camadas principais — epiderme, derme e tecido subcutâneo — que atuam como barreira protetora contra substâncias químicas nocivas, contaminantes ambientais e radiação solar. No entanto, a camada mais externa encontra-se continuamente exposta ao ambiente, tornando-se mais suscetível ao contato com poluentes (GU *et al.*, 2020).

Diversos estudos têm indicado que a exposição a contaminantes ambientais pode estar associada ao desenvolvimento de diferentes tipos de câncer (Turner *et al.*, 2020). Nesse contexto, pesquisas recentes relataram a presença de microplásticos em tecidos do cólon humano, com concentrações mais elevadas em tecido tumoral colorretal, sugerindo uma possível associação entre a exposição a essas partículas e efeitos adversos à saúde. No entanto, os mecanismos envolvidos nessa relação ainda não estão totalmente esclarecidos, sendo necessários estudos adicionais para sua melhor compreensão (CETIN *et al.*, 2023).

Existem diversas alternativas e potencialmente mais sustentáveis em comparação aos polímeros sintéticos derivados de fontes não renováveis para aplicação em formulações cosméticas. Nesse contexto, os polímeros biodegradáveis têm sido apontados como uma estratégia promissora para reduzir os impactos ambientais associados ao uso de microplásticos. No entanto, a incorporação dessas matérias-primas alternativas representa um desafio para a indústria cosmética, uma vez que esses materiais devem garantir elevados padrões de segurança, estabilidade e eficácia para os consumidores (FURMAN *et al.*, 2022).

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar e discutir evidências científicas disponíveis na literatura acerca da aplicação de polímeros biodegradáveis como alternativas aos microplásticos em formulações cosméticas e em suas embalagens. A partir da

análise de estudos experimentais, busca-se identificar materiais capazes de substituir de forma eficiente os microplásticos tradicionalmente utilizados, contribuindo para a transição gradual para o uso de biopolímeros mais sustentáveis no setor cosmético.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SUBSTITUTOS BIODEGRADÁVEIS PARA PLÁSTICOS CONVENCIONAIS EM COSMÉTICOS

Os substitutos biodegradáveis na indústria cosmética concentram-se principalmente em duas áreas: embalagens e ingredientes de formulação (especialmente microplásticos). Pesquisas recentes têm apresentado diversas alternativas baseadas em biopolímeros e polímeros de origem renovável capazes de atender aos requisitos de desempenho tecnológico, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução dos impactos ambientais de longo prazo.

2.1.1. Embalagens biodegradáveis para cosméticos

No contexto da busca por soluções mais sustentáveis na indústria cosmética, as embalagens biodegradáveis têm se destacado como uma estratégia relevante para reduzir a dependência de plásticos derivados de fontes fósseis. O desenvolvimento desses materiais tem como objetivo manter a proteção e a estabilidade dos produtos cosméticos ao longo de sua vida útil, ao mesmo tempo em que minimiza os impactos ambientais associados ao descarte de embalagens convencionais.

Entre os materiais mais promissores para essa aplicação destacam-se o poli(ácido láctico) (PLA), os poli(hidroxicanoatos) (PHAs), compósitos madeira-plástico, materiais à base de celulose e misturas de amido termoplástico. Esses polímeros são obtidos a partir de recursos renováveis e podem apresentar caráter biodegradável ou compostável, contribuindo para a inserção do setor cosmético nos princípios da bioeconomia e da economia circular (OMIRA *et al.*, 2025; IBRAHIM *et al.*, 2021; CINELLI *et al.*, 2019). Além disso, as embalagens destinadas a produtos cosméticos devem apresentar propriedades de barreira adequadas, garantindo a proteção das formulações frequentemente sensíveis à ação de oxigênio, umidade, radiação ultravioleta e à possível migração de substâncias entre o produto e o material da embalagem (MOREL *et al.*, 2024; GOYAL; JEROLD, 2021).

Outro aspecto fundamental refere-se ao desempenho funcional desses materiais, uma vez que as embalagens cosméticas devem assegurar estabilidade físico-química, segurança e qualidade estética durante todo o período de armazenamento e uso do produto.

Estudos comparativos entre materiais biodegradáveis, como o PLA e polímeros convencionais, como o acrilonitrila–butadieno–estireno (ABS), amplamente utilizado em embalagens compactas de cosméticos, indicam que o PLA pode atender aos requisitos mecânicos exigidos para essas aplicações. Além disso, análises de ciclo de vida demonstram que o uso desse material pode reduzir significativamente os impactos ambientais associados à produção e ao descarte das embalagens, embora ainda apresente custos de produção superiores aos dos plásticos convencionais.

Paralelamente, pesquisas recentes têm investigado compósitos totalmente de origem biológica, formados pela combinação de poli(hidroxibutirato-co-valerato) (PHBV), PLA, quitosana, plastificantes e extratos vegetais. Esses sistemas têm demonstrado propriedades mecânicas e térmicas comparáveis às observadas em polímeros amplamente utilizados, como polipropileno e polietileno, indicando que materiais biodegradáveis podem oferecer a rigidez, resistência e processabilidade necessárias para a produção de frascos, tampas e embalagens compactas destinadas a produtos cosméticos (SANTOS *et al.*, 2025; SARAH *et al.*, 2023).

Adicionalmente, o desenvolvimento de nanocompósitos à base de PLA reforçados com argilas em escala nanométrica tem demonstrado potencial para melhorar as propriedades de barreira dos materiais, sem ultrapassar limites regulatórios de migração de substâncias ou provocar efeitos adversos à pele (CONNOLLY *et al.*, 2019)

Entretanto, para que as embalagens biodegradáveis representem efetivamente uma solução ambientalmente sustentável, é fundamental considerar o destino final desses materiais ainda na fase de desenvolvimento e *design*. A adoção de bioplásticos compostáveis permite que embalagens rígidas ou flexíveis sejam inicialmente direcionadas para processos de reciclagem e, posteriormente, para sistemas de compostagem, onde podem sofrer degradação biológica. Idealmente, esse processo também deve possibilitar a degradação de resíduos de formulações cosméticas presentes nas embalagens, desde que os componentes da formulação, como conservantes e tensoativos, sejam compatíveis com os microrganismos responsáveis pela compostagem (GOYAL; JEROLD, 2021; CINELLI *et al.*, 2019).

Paralelamente, estudos de mercado indicam uma crescente aceitação de embalagens biodegradáveis por parte dos consumidores, especialmente quando essas são claramente

identificadas como materiais de origem biológica ou compostáveis. No entanto, esses estudos também evidenciam desafios importantes, como a sensibilidade do mercado aos custos mais elevados desses materiais e a necessidade de maior clareza regulatória e transparência quanto à composição e ao destino final das embalagens. Nesse sentido, a consolidação de embalagens biodegradáveis no setor cosmético depende de esforços integrados entre pesquisadores, indústria, formuladores de produtos e órgãos reguladores, de modo a promover o desenvolvimento de materiais de alto desempenho aliados a estratégias eficazes de gestão de resíduos e comunicação ambiental (PERRET *et al.*, 2025; CUBAS *et al.*, 2022).

2.1.2. Substitutos biodegradáveis para microplásticos em formulações cosméticas

Produtos cosméticos de enxágue, como esfoliantes e agentes de limpeza facial, têm utilizado tradicionalmente microesferas plásticas de polietileno e outros polímeros de origem petroquímica como agentes abrasivos e modificadores de textura. Após o uso, essas partículas são liberadas nos sistemas de esgoto e frequentemente atravessam as estações de tratamento de efluentes, acumulando-se em ecossistemas aquáticos. Em resposta aos impactos ambientais associados a esses materiais, diversos países passaram a adotar restrições ou proibições ao uso de microesferas plásticas em cosméticos, impulsionando o desenvolvimento de alternativas biodegradáveis capazes de reproduzir propriedades sensoriais, dureza e eficiência de limpeza semelhantes às dos plásticos convencionais (BIKIARIS *et al.*, 2024; JU *et al.*, 2021; HUNT *et al.*, 2020; ANAGNOSTI *et al.*, 2020).

De modo geral, as alternativas aos microplásticos utilizados em formulações cosméticas podem ser classificadas em três principais categorias. A primeira inclui abrasivos naturais, como partículas derivadas de cascas vegetais ou minerais, que apresentam origem natural e biodegradabilidade relativamente elevada. A segunda categoria envolve microesferas produzidas a partir de polímeros naturais, como alginato, amido, quitosana e celulose. A terceira categoria compreende microesferas obtidas a partir de polímeros sintéticos biodegradáveis, especialmente poliésteres alifáticos e copolímeros projetados para sofrer degradação ambiental controlada. Esses materiais vêm sendo amplamente investigados por apresentarem propriedades ajustáveis e desempenho tecnológico comparável ao dos polímeros convencionais utilizados na indústria cosmética (ZHANG *et al.*, KOZŁOWSKA *et al.*, 2019).

Entre as alternativas mais promissoras destacam-se as microesferas baseadas em biopolímeros. Um exemplo relevante é o desenvolvimento de microesferas obtidas a partir de quitosana reacetilada, conhecidas como *chito-beads*. Essas partículas apresentam morfologia esférica relativamente uniforme, com diâmetro aproximado de 280 µm, elevada resistência mecânica e eficiência de limpeza superior à observada para microesferas de polietileno. Além disso, estudos demonstram que essas partículas são completamente biodegradáveis em solos e não apresentam toxicidade para plantas, indicando seu potencial para aplicação em formulações cosméticas esfoliantes (JU *et al.*, 2021).

Outros sistemas baseados em polissacarídeos naturais também têm demonstrado resultados promissores. Microesferas produzidas a partir de alginato de sódio e compósitos alginato–amido apresentaram desempenho semelhante ao de partículas sintéticas comerciais em formulações de *peelings* faciais. Ensaio *in vivo* indicaram que esses materiais não provocam irritação cutânea nem alterações significativas na hidratação da pele ou na integridade da barreira cutânea, sugerindo boa compatibilidade dermatológica (KOZŁOWSKA *et al.*, 2019).

De forma semelhante, microesferas compostas por polissacarídeos derivados de algas marinhas, como ulvana associada ao alginato, têm sido investigadas não apenas como agentes abrasivos, mas também como sistemas funcionais capazes de incorporar compostos bioativos, como curcumina, conferindo propriedades antioxidantes e antimicrobianas às formulações cosméticas (SELVASUDHA *et al.*, 2023).

Além dos polissacarídeos, materiais derivados de celulose e lignina também têm sido estudados como alternativas sustentáveis aos microplásticos. Microesferas à base de celulose, especialmente aquelas reforçadas com estruturas nanométricas orgânicas, podem alcançar níveis de rigidez comparáveis ou até superiores aos de microesferas de polipropileno. Esses resultados ampliam as possibilidades de aplicação de materiais de origem lignocelulósica no desenvolvimento de partículas abrasivas biodegradáveis destinadas à indústria cosmética (RYU *et al.*, 2024; MCMACKIN *et al.*, 2024; ROBERTSON *et al.*, 2023).

Paralelamente, polímeros sintéticos biodegradáveis, especialmente poliésteres alifáticos, têm sido amplamente investigados para a produção de microesferas com propriedades controladas. Entre os materiais mais estudados destacam-se o poli(ácido láctico) (PLA), a policaprolactona (PCL), o poli(butileno succinato) (PBS) e o poli(butileno succinato-co-adipato) (PBSA). Esses polímeros podem ser processados por técnicas relativamente simples,

como processos de fusão, originando partículas esféricas com diâmetro entre 25 e 200 μm e resistência mecânica comparável à de microesferas de polietileno e polipropileno. Ensaios de biodegradação demonstram que alguns desses materiais, especialmente variantes de PBSA e poli(3-hidroxi-butirato), apresentam degradação relativamente rápida em testes enzimáticos e em ambientes marinhos, incluindo condições de águas profundas (HYODO *et al.*, 2024; CHOI *et al.*, 2022; GAN *et al.*, 2022).

Além disso, pesquisas recentes têm demonstrado que microesferas produzidas a partir de copolímeros como poli(3HB-co-4HB) e PLA obtidos por técnicas como *melt electrospinning* apresentam degradação hidrolítica acelerada e menor capacidade de adsorção de poluentes orgânicos persistentes quando comparadas a microesferas plásticas convencionais. Essa característica é particularmente relevante, uma vez que reduz o potencial dessas partículas atuarem como vetores de transporte de contaminantes no ambiente (CHOI *et al.*, 2022; NAM; PARK, 2020).

Novas classes de materiais biodegradáveis também têm sido exploradas para aplicação em produtos de cuidados pessoais. Entre esses materiais destacam-se micropartículas baseadas em poli(β -amino ésteres), polímeros projetados para se degradar em derivados de açúcares e aminoácidos. Esses sistemas têm demonstrado eficiência na remoção de impurezas e contaminantes da pele, ao mesmo tempo em que apresentam degradação completa no ambiente, representando uma abordagem inovadora para substituir microplásticos em formulações cosméticas e reduzir sua persistência ambiental (ZHANG *et al.*, 2024; BIKIARIS *et al.*, 2024).

De forma geral, o desenvolvimento de microesferas biodegradáveis representa uma das estratégias mais promissoras para reduzir a presença de microplásticos em produtos cosméticos. No entanto, a ampla adoção desses materiais ainda depende de avanços adicionais relacionados à otimização de propriedades físico-químicas, escalabilidade de produção e viabilidade econômica, aspectos essenciais para sua implementação em larga escala na indústria cosmética.

Além das microesferas, os polímeros formadores de filme e os aglutinantes presentes nas formulações podem se comportar como microplásticos quando liberados no meio ambiente. Polímeros sintéticos insolúveis em água são amplamente utilizados como formadores de filme, reguladores de viscosidade, aglutinantes e agentes condicionadores da pele em cremes, bases, protetores solares, produtos para cabelo e outros produtos de uso

tópico (RAHIM *et al.* 2021). Esses materiais são tipicamente plásticos sólidos e não degradáveis (termoplásticos, termofixos e silicones) dispersos na formulação. Após a aplicação e secagem, formam uma película plástica contínua sobre a pele, que pode liberar fragmentos microscópicos durante o uso ou remoção, gerando efetivamente microplásticos (GIUSTRA *et al.*, 2024).

Os produtos sem enxágue são pouco estudados, mas frequentemente contêm múltiplos ingredientes plásticos por formulação, incluindo copolímeros de acrilato, poliacrilatos, polímeros do tipo poliuretano, pós de náilon e outros sistemas formadores de filme insolúveis. Estudos de triagem que classificam ingredientes que favorecem a formação de microplásticos mostram o uso frequente de copolímeros de acrilato e polímeros à base de dimeticona em pastas de dente, sabonetes faciais e outros produtos de cuidados pessoais, identificando-os como uma fonte potencial de emissões de microplásticos quando se desprendem em flocos ou partículas (RAHIM *et al.*, 2021; NAWALAGE; BELLANTHUDAWA 2022).

Revisões mais recentes em periódicos de dermatologia e meio ambiente distinguem explicitamente microplásticos primários em formulações de microplásticos secundários gerados pela degradação ou abrasão desses filmes e embalagens (HAN; KIM, 2025). Eles observam que ingredientes plásticos usados para textura, estabilização e efeitos de longa duração (por exemplo, em maquiagem de longa duração, protetores solares, produtos para estilização de cabelo e loções corporais) podem se fragmentar na superfície da pele ou durante a lavagem, contribuindo com detritos plásticos de tamanho micro e possivelmente nano para águas residuais e, em última instância, para sistemas aquáticos (CUBAS *et al.*, 2022).

Os esforços legislativos e de monitoramento têm se concentrado principalmente em microesferas sólidas em produtos de enxágue, enquanto produtos sem enxágue ricos em polímeros, capazes de formar filmes persistentes, permanecem amplamente negligenciados na regulamentação e nas avaliações ambientais (KUKKOLA *et al.*, 2024, GIUSTRA *et al.*, 2024; BIKIARIS *et al.*, 2024).

Essas fontes são apontadas como uma importante lacuna de conhecimento: as quantidades liberadas, o comportamento de degradação e as consequências (eco)toxicológicas dos polímeros cosméticos formadores de filme ainda são pouco quantificadas, e as definições regulatórias atuais de microplásticos podem não abranger completamente essas partículas derivadas de filmes (HAN, KIM, 2025).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente preocupação com os impactos ambientais e potenciais riscos à saúde associados aos microplásticos tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis na indústria cosmética. Esses materiais têm sido amplamente utilizados em formulações e embalagens cosméticas devido às suas propriedades tecnológicas. No entanto, sua persistência no ambiente e o potencial de dispersão em ecossistemas aquáticos têm motivado esforços científicos e regulatórios voltados à sua substituição.

Nesse contexto, polímeros biodegradáveis e biopolímeros de origem renovável surgem como alternativas promissoras tanto para o desenvolvimento de embalagens quanto para a substituição de microesferas plásticas e outros componentes poliméricos presentes nas formulações cosméticas. Materiais como poli(ácido láctico), poli(hidroxialcanoatos), polissacarídeos naturais, derivados de celulose e outros polímeros biodegradáveis têm demonstrado propriedades físico-químicas e desempenho funcional comparáveis aos dos polímeros convencionais.

Apesar dos avanços observados, a substituição em larga escala dos microplásticos de origem fóssil por alternativas biodegradáveis e mais sustentáveis ainda enfrenta desafios relacionados ao custo de produção, à escalabilidade industrial e à manutenção da estabilidade e eficácia das formulações. Assim, o desenvolvimento contínuo de novos biopolímeros e a avaliação de seu desempenho tecnológico e impacto ambiental são fundamentais para viabilizar a transição gradual para materiais mais sustentáveis no setor cosmético.

REFERÊNCIAS

1. GUERRANTI, T. et al. Microplastics in cosmetics: environmental issues and needs for global bans. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 68, pp. 75-79, 2019.
2. ROCHA, D. et al. Alternativas ao uso de microplásticos nas indústrias cosméticas. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 4, n. 2, p. 50–57, 2021.
3. LESLIE, H. A. et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. **Environment international**, vol. 163. 2022.

4. CUBAS, A.L. et al. Plastics and Microplastic in the Cosmetic Industry: Aggregating Sustainable Actions Aimed at Alignment and Interaction with UN Sustainable Development Goals. **Polymers (Basel)**. vol. 14, 2022.
5. ZHOU, Y. et al. Current research trends on cosmetic microplastic pollution and its impacts on the ecosystem: A review. **Environ Pollut**, vol. 320, 2023.
6. VARGAS, J. G. M. et al. Microplásticos: uso na indústria cosmética e impactos no ambiente aquático. **Química Nova**, vol. 45, no. 6, p. 705–711, 2022.
7. COX, K. D. et al. Human consumption of microplastics. **Environmental Science & Technology**, vol. 53, no. 12, p. 7068–7074, 2019
8. PRATA, J.C. et al. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. **Sci Total Environ**, vol. 702, 2020.
9. LEI, K. et al. Microplastics releasing from personal care and cosmetic products in China. **Marine pollution bulletin**, vol. 123, n.2, p. 122–126, 2017.
10. Plastic soup Foundation (no date), “Plastic the hidden beauty ingredient”, Available at: <https://www.plasticsoupfoundation.org/Plastic-TheHiddenBeautyIngredients.pdf>
11. M.S. Yee, L.W. Hii, C.K. Looi, W.M. Lim, S.F. Wong, Y.Y. Kok, B.K. Tan, C.Y. Wong, C.O. Leong. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials*, 11 (2) (2021 Feb 16), p. 496
12. Y. Gu, J. Han, C. Jiang, Y. Zhang. Biomarkers, oxidative stress and autophagy in skin aging *Ageing Res. Rev.*, 59 (2020).
13. M.C. Turner, Z.J. Andersen, A. Baccarelli, W.R. Diver, S.M. Gapstur, C.A. Pope III, D. Prada, J. Samet, G. Thurston, A. Cohen Outdoor air pollution and cancer: an overview of the current evidence and public health recommendations *CA Cancer J. Clin.*, 70 (6) (2020), pp. 460-479
14. M. Cetin, F. Demirkaya Miloglu, N. Kilic Baygutalp, O. Ceylan, S. Yildirim, G. Eser, H.İ. Gul Higher number of microplastics in tumoral colon tissues from patients with colorectal adenocarcinoma *Environ. Chem. Lett.*, 21 (2) (2023), pp. 639-646
15. Omira, A., Grira, S., Mourad, A., & Alkhedher, M. The New Generation of Cosmetics Packaging: A Paradigm Shift. *Global Transitions*. 2025 <https://doi.org/10.1016/j.glt.2025.04.004>.

16. Cinelli, P., Coltelli, M., Signori, F., Morganti, P., & Lazzeri, A. Cosmetic Packaging to Save the Environment: Future Perspectives. *Cosmetics*. 2019 <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020026>.
17. Ibrahim, N., Shahar, F., Sultan, M., Shah, A., Safri, S., & Yazik, M. (2021). Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging. *Coatings*. <https://doi.org/10.3390/coatings11111423>.
18. Nishu Goyal and F. Jerold. "Biocosmetics: technological advances and future outlook." *Environmental Science and Pollution Research International*, 30 (2021): 25148 - 25169. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17567-3>.
19. Morel, S., Mura, G., Gallarate, M., & Sapino, S. (2024). Cosmetic Packaging: European Regulatory Aspects and Sustainability. *Cosmetics*. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11040110>.
20. Mifsud Sarah, R. Paul and Rochman Arif. Biodegradable polymers for cosmetic packaging: A technical and life cycle perspective. *Materials Research Proceedings* (2023). <https://doi.org/10.21741/9781644902479-217>.
21. Connolly, M. et al. Novel polylactic acid (PLA)-organoclay nanocomposite bio-packaging for the cosmetic industry; migration studies and in vitro assessment of the dermal toxicity of migration extracts. *Polymer Degradation and Stability* (2019). <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.108938>.
22. Cubas, A. et al. Plastics and Microplastic in the Cosmetic Industry: Aggregating Sustainable Actions Aimed at Alignment and Interaction with UN Sustainable Development Goals. *Polymers*, 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14214576>.
23. Perret, J., Velázquez, A., & Mehn, A. (2025). Green Cosmetics—The Effects of Package Design on Consumers' Willingness-to-Pay and Sustainability Perceptions. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17062581>.
24. Hyeong Chan Nam and W. Park. Aliphatic Polyester-Based Biodegradable Microbeads for Sustainable Cosmetics. *ACS biomaterials science & engineering*, 6 4 (2020): 2440-2449. <https://doi.org/10.1021/acsbmaterials.0c00017>
25. Sungbin Ju, Giyoung Shin, Minkyung Lee, J. Koo, Hyeonyeol Jeon, Y. Ok, D. Hwang, S. Hwang, D. Oh and Jeyoung Park. Biodegradable chito-beads replacing non-biodegradable microplastics for cosmetics. *Green Chemistry* (2021). <https://doi.org/10.1039/d1gc01588e>

26. Natsumi Hyodo, Hongyi Gan, M. Ilangoan, Satoshi Kimura, K. Kasuya, Noriyuki Isobe and Tadahisa Iwata. Coastal and deep-sea biodegradation of polyhydroxyalkanoate microbeads. *Scientific Reports*, 14 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60949-z>
27. Yun-Hyeok Choi, J. Park, E. Sim, Eunhye Lee, K. Yoon and W. Park. Ecofriendly poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) microbeads for sanitary products. *International journal of biological macromolecules* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.237>
28. J. Kozłowska, Weronika Prus and N. Stachowiak. Microparticles based on natural and synthetic polymers for cosmetic applications. *International journal of biological macromolecules*, 129 (2019): 952-956. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.091>
29. N. Selvasudha, R. Goswami, M. Tamil Mani Subi, Saranga Rajesh, Kunal Kishore R and H. Vasanthi. Seaweeds Derived Ulvan and Alginate polysaccharides encapsulated microbeads- Alternate for plastic microbeads in exfoliating cosmetic products. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* (2023). <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100342>
30. Hongyi Gan, T. Okada, Satoshi Kimura, K. Kasuya and T. Iwata. Manufacture, physical properties, and degradation of biodegradable polyester microbeads. *Polymer Degradation and Stability* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110239>
31. Benjamin P Robertson, Lena Hoover, G. Rott, Michelle Quan and M. Calabrese. Development of microbeads from unmodified biomass with tunable size and competitive mechanical properties. *Cellulose*, 30 (2023): 8839 - 8859. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05393-4>
32. C. Hunt, Wilson H. Lin and Nikolaos (Nick) Voulvoulis. Evaluating alternatives to plastic microbeads in cosmetics. *Nature Sustainability*, 4 (2020): 366-372. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00651-w>
33. Lamprini Anagnosti, A. Varvaresou, P. Pavlou, E. Protopapa and V. Carayanni. Worldwide actions against plastic pollution from microbeads and microplastics in cosmetics focusing on European policies. Has the issue been handled effectively?. *Marine pollution bulletin*, 162 (2020): 111883. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111883>
34. Hyeong Chan Nam and W. Park. Eco-friendly poly(lactic acid) microbeads for cosmetics via melt electrospinning. *International journal of biological macromolecules* (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.240>

35. Bikiaris, N. D. et al. Microplastics (MPs) in Cosmetics: A Review on Their Presence in Personal-Care, Cosmetic, and Cleaning Products (PCCPs) and Sustainable Alternatives from Biobased and Biodegradable Polymers. *Cosmetics* (2024). <https://doi.org/10.3390/cosmetics11050145>
36. Amy McMackin, Vincent Banville and Sébastien Cardinal. Biosourced spherical microbeads from brewer's spent grain for sustainable personal hygiene products. *Journal of Polymer Science* (2024). <https://doi.org/10.1002/pol.20230613>
37. RYU, S. J. et al. Fabrication of composite microbeads consisting of cellulose and covalent organic nanosheets via electrospray process. *Cellulose*, 31 (2024): 2281 - 2293. <https://doi.org/10.1007/s10570-024-05757-4>
38. LINZIXUAN, Z. et al. Degradable poly(β -amino ester) microparticles for cleansing products and food fortification. *Nature Chemical Engineering*, 2 (2024): 77 - 89. <https://doi.org/10.1038/s44286-024-00151-0>

CAPÍTULO VIII

FÓSFORO NA NUTRIÇÃO DE PEIXES: EQUILÍBRIO ENTRE DESEMPENHO PRODUTIVO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

PHOSPHORUS IN FISH NUTRITION: BALANCING PRODUCTIVE PERFORMANCE AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

DOI: 10.51859/amplla.asc6140-8

Ronielson Soares Garcia¹
Bruna Gomes dos Santos²
Italo Serri Sartório Lopes³
Brenda de Oliveira Marinho³
Fernanda Lemos Resende⁴
Cristielle Nunes Souto⁵

¹ Graduado em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário de Mineiros – UNIFIMES

² Graduada em Zootecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

³ Discente do curso de Zootecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

⁴ Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Jataí – UFJ

⁵ Docente do curso de Zootecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

RESUMO

A presente revisão aborda a utilização do fósforo (P) na nutrição de peixes, sua digestibilidade em diferentes ingredientes e o potencial poluente decorrente de seu excesso nos sistemas aquícolas. A piscicultura é uma das atividades de produção animal que mais crescem no Brasil, favorecida por condições climáticas tropicais e pela diversidade de espécies de peixes nativas com potencial zootécnico, como tambaqui e pacu-caranha, e espécies exóticas, como a tilápia-do-nylo. Um dos principais desafios da produção intensiva é o fornecimento adequado de P, macromineral essencial ao crescimento, metabolismo energético e formação óssea. Como a absorção diretamente da água é limitada, a dieta representa sua principal fonte; porém, o excesso não absorvido é excretado, contribuindo para a eutrofização de corpos d'água. Como o P de fontes vegetais está predominantemente ligado ao fitato e apresenta baixa biodisponibilidade para peixes, a suplementação de fitase tem sido estudada para otimizar a digestão e reduzir a excreção desse nutriente, minimizando impactos ambientais, considerando que o aproveitamento do fósforo varia conforme a fase de cultivo, a espécie e o tipo de ingrediente, e tende a ser maior em fontes

animais como farinha de peixe e farinha de carne e ossos. Estudos indicam variações nas exigências (0,25% a 1,10%) e coeficientes de digestibilidade entre 11% e 99%, conforme a fonte. A deficiência compromete o desempenho zootécnico, a digestão de nutrientes e a qualidade da carne, enquanto o excesso contribui para a poluição ambiental. Estratégias como aditivos enzimáticos e formulações balanceadas são fundamentais para a sustentabilidade da aquicultura.

Palavras-chave: Eutrofização. Fitato. Minerais. Piscicultura. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This review addresses the use of phosphorus in fish nutrition, its digestibility in different feed ingredients, and the pollution potential resulting from its excess in aquaculture systems. Fish farming is one of the fastest-growing animal-production activities in Brazil, favored by tropical climatic conditions and by the diversity of native fish species with zootechnical potential, such as tambaqui and pacu-caranha, as well as exotic species such as Nile tilapia. One of the main challenges in intensive production is the adequate supply of phosphorus (P), an essential macromineral for growth, energy



metabolism, and bone formation. Because direct absorption from water is limited, diet represents the main source; however, unabsorbed excess is excreted and contributes to eutrophication of natural water bodies. Since phosphorus from plant-based ingredients is predominantly bound to phytate and exhibits low bioavailability for fish, dietary phytase supplementation has been studied to optimize digestion and reduce nutrient excretion, thereby minimizing environmental impacts, considering that phosphorus utilization varies according to production stage, species, and ingredient type, and tends to be higher in animal-

derived sources such as fishmeal and meat-and-bone meal. Studies indicate variation in dietary requirements (0.25% to 1.10%) and digestibility coefficients ranging from 11% to 99%, depending on the source. Deficiency compromises productive performance, nutrient digestion, and fillet quality, whereas excess contributes to environmental pollution. Strategies such as enzymatic additives and balanced formulations are essential for sustainable aquaculture.

Keywords: Eutrophication. Minerals. Fish farming. Sustainability. Phytate.

1. INTRODUÇÃO

A piscicultura brasileira é, atualmente, o setor de produção animal que mais tem crescido nos últimos anos, alcançando, em 2024, uma produção de 968.745 toneladas de peixes cultivados, o que representa um aumento de 9,21% em relação à safra de 2023 (887.029 t). Esse resultado representa o maior crescimento anual da produção aquícola brasileira em uma década, evidenciando a consolidação do setor como um dos mais dinâmicos da cadeia agropecuária nacional (Peixe BR, 2025).

O território brasileiro caracteriza-se por um clima majoritariamente tropical, favorecendo o acelerado desenvolvimento de peixes e demais organismos aquáticos, além de contar com ampla diversidade de espécies de peixes com potencial para a criação em cativeiro, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o pacu-caranha (*Piaractus mesopotamicus*), e da espécie exótica tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Nesse contexto, o tambaqui, originário da bacia amazônica, é descrito como um peixe redondo de água doce amplamente utilizado nos sistemas de produção por seu rápido potencial de crescimento, com peso ao abate alcançado em aproximadamente um ano de criação. Além disso, é altamente aceito pelos consumidores graças a sua qualidade e sabor da carne (Souza et al., 2017). A tilápia é uma espécie exótica de água doce, originária do rio Nilo, no Egito. Devido à fácil adaptabilidade ao clima tropical e a dieta onívora, a tilápia é considerada uma espécie de peixe de fácil criação. Tais características, somadas à rusticidade e o sabor da carne, que é amplamente apreciada pelos consumidores, tornaram-na a espécie mais produzida no Brasil (Camoleze, 2019). Já o pacu-caranha, nativo da Bacia do Paraná–Paraguai, é caracterizado como um peixe de hábito alimentar onívoro que possui boa adaptação de cultivo, rápido

crescimento, baixa exigência de proteína e boa aceitação pelo mercado consumidor (Signor et al., 2011).

Devido ao aumento anual da demanda global por alimentos, impulsionado tanto pelo crescimento populacional quanto pela busca por fontes nutritivas e acessíveis, torna-se cada vez mais urgente o desenvolvimento de estratégias sustentáveis voltadas para a produção (Laktuka et al., 2023). Dessa forma, o crescimento da piscicultura brasileira reforça a necessidade de tecnologias nutricionais e de manejo que favoreçam uma produção aquícola eficiente e ambientalmente responsável.

A formulação de dietas que atendam de forma precisa às exigências nutricionais dos peixes, sem gerar impactos negativos ao ambiente, representa um dos principais desafios da aquicultura moderna. O fornecimento desequilibrado ou excessivo de nutrientes nas rações, como nitrogênio (N) e fósforo (P), pode ocasionar na liberação exagerada desses compostos nos ecossistemas aquáticos, contribuindo para a eutrofização em corpos d'água (Green et al., 2002). Este processo é caracterizado pela proliferação descontrolada de algas, resultante da alta disponibilidade desses nutrientes oriundos de resíduos fecais, urinários e de rações não consumidas (Yang et al., 2008). A proliferação de algas decorrente da eutrofização pode resultar na liberação de metabólitos secundários que comprometem a qualidade sensorial dos produtos aquícolas, como a presença de sabores e odores indesejáveis (*off-flavor*) nos filés de peixes (Cyrino et al., 2010).

Em sistemas intensivos de produção de peixes, estima-se que entre 70% e 80% do P presente nas rações não é absorvido pelos animais e são excretados no ambiente aquático (Soto et al., 2008). Por ser um nutriente limitante em ecossistemas de água doce e em alguns ambientes marinhos, a liberação contínua de P pode acelerar o processo de eutrofização (Gamble et al., 2021). Por isso, a redução da carga de fósforo tem se mostrado uma medida eficaz no controle da eutrofização em ambientes aquáticos (Schindler, 2016). Diante disso, o manejo nutricional adequado, com estratégias para minimizar resíduos, torna-se essencial para mitigar o problema (Macedo, 2010), ajustar os níveis de nutrientes na dieta para promover maior absorção e, conseqüentemente, menor excreção no ambiente (Bureau, 2010; Hua, 2010). Assim, minimizar a liberação de fósforo e resíduos sólidos torna-se um fator estratégico para a sustentabilidade da aquicultura em água doce (Moody et al., 2015).

O P é classificado como um macromineral por ser requerido em grandes quantidades pelo organismo, desempenhando um papel fisiológico estrutural fundamental, por estar

presente na formação e manutenção do tecido ósseo, em conjunto com o cálcio, além de participar da estrutura das membranas celulares e de processos essenciais do metabolismo energético (Diemer et al., 2011). Entretanto, os peixes absorvem a maior parte do fósforo necessário por meio da dieta, já que a absorção de fósforo diretamente da água é muito baixa, indicando a necessidade de suplementação deste mineral na dieta (Bomfim, 2013; Chen et al., 2017; NRC, 2011).

Entre os nutrientes caracterizados como essenciais, o fósforo destaca-se como um dos mais onerosos nas rações aquícolas (Bomfim, 2013; De Sousa et al., 2018). Diante desse cenário, busca-se reduzir os custos de produção da ração com a inclusão de ingredientes de origem vegetal. No entanto, essa estratégia é desafiadora, já que o fósforo contido nos vegetais está majoritariamente presente na forma de fitato, uma molécula com baixa biodisponibilidade para peixes e outros animais monogástricos, devido à ausência ou reduzida atividade da enzima fitase nesses organismos (Pontes, 2015; Quintero-Pinto et al., 2011). Além disso, o fitato é considerado um dos principais fatores antinutricionais presentes em ingredientes vegetais destinados à alimentação de aves, suínos e peixes, pois, ao se ligar ao P presente no ingrediente, forma um complexo insolúvel, tornando-o indisponível e prejudicando sua digestão e absorção (Pontes, 2015; Quintero-Pinto et al., 2011).

Ainda que o fósforo vegetal apresente baixa biodisponibilidade de forma geral, alguns alimentos vegetais apresentam valores relativamente elevados de digestibilidade do fósforo para tilápias, como o farelo de trigo (53,11%), o farelo de algodão (52,88%), o farelo de soja (22,31%), o glúten de milho (22,17%) e o milho (11,44%) (Gonçalves et al., 2007).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre as exigências nutricionais e a digestibilidade do fósforo em peixes, abordando os efeitos decorrentes da deficiência e do excesso desse mineral na dieta, bem como sua relação com o meio ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MINERAIS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

Os minerais exercem diversas funções no organismo, sendo que um mesmo mineral pode atuar em múltiplos processos fisiológicos. No entanto, seu consumo em excesso pode levar à toxicidade (Bertóli, 2010). A inclusão em quantidades adequadas de macrominerais na dieta dos peixes é essencial para atender às exigências nutricionais da espécie, além de

potencializar aumento no crescimento e favorecer o controle do pH e a regulação da homeostase animal (Duarte, 2023). De modo geral, os minerais estão relacionados com a formação óssea e de tecidos, na manutenção do equilíbrio ácido-base e na regulação do metabolismo enzimático (Hermida et al., 2010).

Entre os macrominerais, o fósforo destaca-se por ser essencial ao crescimento, ao desenvolvimento esquelético, à reprodução e ao metabolismo energético dos peixes, estando amplamente distribuído em todas as células do organismo (Milián-Sorribes et al., 2021). Esse elemento é absorvido principalmente na forma de fosfato, e a utilização de dietas formuladas com fontes biodisponíveis, incluindo nanopartículas, contribui para otimizar sua absorção, reduzir a excreção no ambiente e promover o desempenho zootécnico dos peixes, além da sustentabilidade dos sistemas aquícolas (Elamawy et al., 2023; Sugiura, 2025).

Além de sua importância fisiológica, o fósforo participa também de diversos processos bioquímicos, como a geração e transferência de energia, o armazenamento de compostos fosforilados como o ATP (adenosina trifosfato) e o fosfato de creatina, bem como do metabolismo dos fluidos corporais e dos aminoácidos (Da Silva e Cozzolino, 2007; Dato-Cajegas e Yakupitiyage, 1996; Martini, 2006; Strain e Cashman, 2002).

2.2. INGREDIENTES USADOS COMO FONTE DE FÓSFORO NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

O P utilizado nas rações pode ser encontrado em ingredientes de origem animal, vegetal ou mineral (rochas fosfáticas) (Bomfim, 2013; De Sousa et al., 2018). No entanto, grande parte do P presente em ingredientes proteicos de origem vegetal como milho, farelo de soja, farelo de trigo e glúten de milho, possuem ligação com o ácido fítico, também conhecido como hexaquisfosfato de inositol (IP6), o que limita sua biodisponibilidade para os peixes (Sugiura, 2024). Já os ingredientes de origem animal utilizados na dieta (ex.: farinhas de peixe, carne e ossos e aves), não contam com a molécula de fitato, o que proporciona disponibilidade completa do fósforo, exceto para as farinhas de carne e ossos, em que as pesquisas mostraram ter disponibilidade de 90% de P (Rostagno et al., 2017). (Tabela 1).

Tabela 1 - Teor de fósforo total, disponível e fítico em alimentos de origem vegetal utilizados na alimentação de peixes

| Alimentos | Fósforo total (%) | Fósforo disponível (%) | Fósforo fítico (%) |
|-------------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| Farinha de peixe (54 - 61%) | 2,99 - 2,41 | 2,99 - 2,41 | 0,0 |
| Farinha de carne e ossos (38 - 60%) | 7,54 - 4,59 | 6,79 - 4,13 | 0,0 |
| Milho | 0,19 - 0,29 | 0,04 - 0,08 | 0,15 - 0,21 |
| Milheto | 0,29 | 0,08 | 0,21 |
| Farelo de soja | 0,59 | 0,22 - 0,23 | 0,36 - 0,37 |
| Farelo de arroz | 1,71 | 0,35 | 1,37 |
| Farelo de trigo | 0,94 | 0,49 | 0,45 |
| Glúten de milho 60% | 0,52 | 0,05 | 0,47 |
| Sorgo | 0,23 - 0,26 | 0,07 - 0,08 | 0,16 - 0,18 |
| Farelo de algodão | 0,85 - 1,07 | 0,29 - 0,46 | 0,56 - 0,65 |

Fonte: Retirado de: Lall, S. P. (2006), NRC (2011); Lall (2002), Furuya et al. (2010), Rostagno et al. (2017).

As proteínas de origem vegetal podem, portanto, ser consideradas alternativas viáveis para a produção de peixes na maioria dos países em desenvolvimento (Abdul Kader et al., 2012; Hassaan et al., 2018). Por contribuir de forma significativa para o atendimento das exigências nutricionais, o milho compõe grande parte das dietas animais. No entanto, apresenta baixa disponibilidade de fósforo (0,29%) e reduzida digestibilidade desse mineral (11,44%) (Gonçalves et al., 2007). Já o glúten de milho, alimento derivado do milho que vem sendo utilizado na fabricação de rações, apresenta maiores níveis de fósforo (0,52%) (Furuya et al., 2010; Rostagno et al., 2017).

Entre todas as fontes de proteína vegetal, o farelo de soja (FSS) representa o alto teor de proteína, o perfil de aminoácidos mais seguro, a fonte estável e o custo mais realista (Meng et al., 2020; Pervin et al., 2020). O farelo de soja é a matéria prima de origem vegetal mais abundante no Brasil, com um nível de fósforo de 0,59%, além de ser considerado o ingrediente padrão de formulação para as espécies onívoras (Pezzato et al., 2009). Outra fonte proteica que vem sendo utilizada por zootecnistas devido a suas características bromatológicas, é o farelo de algodão, que passou a ser cogitado na alimentação de espécies de peixes, tornando-se uma excelente alternativa para minimizar custos de produção e pelo bom nível de fósforo (1,07%) (Abiove, 2025). Apesar de seu valor nutricional ser inferior ao farelo de soja, o farelo de algodão apresenta uma palatabilidade mediana e possui teores empregados maiores em

dietas para peixes quando comparado a outros monogástricos (Santos et al., 2008). Para tilápias, o Coeficiente de Digestibilidade Aparente (CDA) do farelo de algodão chegou a 52,88% (Gonçalves et al., 2007).

Quanto às proteínas de origem animal, a farinha de peixe é uma das fontes proteicas mais importantes e comumente usadas em rações aquáticas devido à sua alta qualidade proteica, aminoácidos relativamente balanceados, numerosos nutrientes essenciais ou condicionalmente essenciais, como n-3 LC-PUFA e minerais, vitaminas e boa palatabilidade (Bauer et al., 2012; Miles e Chapman, 2015). Além disso, a farinha de peixe, incorporada às rações aquícolas, impacta de maneira significativa nos custos de produção, representando entre 65% a 80% dos custos totais da dieta, sendo o ingrediente proteico que mais encarece a formulação da ração (Barone, 2017).

Quando se trata de fonte inorgânica de fósforo, o fosfato bicálcico vem sendo definido como a melhor fonte de fósforo, principalmente para aquelas dietas com alto teor de alimentos de origem vegetal durante sua formulação (Furuya et al., 2008).

De maneira geral, os ingredientes vegetais apresentam baixa eficiência na absorção de P por animais monogástricos, devido à reduzida atividade da enzima fitase. Essas enzimas são produzidas por uma ampla variedade de microrganismos capazes de neutralizar as propriedades antinutricionais das moléculas de fitato (Ferreira e Lopes, 2012). É importante destacar que a biodisponibilidade é um fator de extrema relevância, já que uma ração com níveis adequados de nutrientes, mas em formas não disponíveis, resulta em baixa absorção, crescimento comprometido e maior excreção de nutrientes, conseqüentemente gerando impactos ambientais (Ganga et al., 2015; Lazzari e Baldisserotto, 2008). Além das fontes microbianas, a fitase também é produzida, ainda que em menor quantidade, pelo intestino delgado de peixes (Huang et al., 2009). Já foi relatado que algumas espécies de peixes apresentam atividade endógena de fitase, o que possibilita o aproveitamento parcial do fósforo presente na forma de fitato.

A fitase é a enzima responsável pela hidrólise do fitato, resultando na liberação de inositol e fosfatos, o que torna o fósforo disponível para absorção (Delmaschio, 2018). A adição de fitase à dieta permite uma absorção mais eficiente do fósforo pelos peixes, reduzindo a necessidade de suplementação com fontes inorgânicas. Essa estratégia contribui para o aumento do ganho de peso, melhora do consumo de ração e conversão alimentar, melhor mineralização óssea e redução da mortalidade (Qian et al., 1996).

Como já dito anteriormente, o fitato disponível nas rações pode apresentar dificuldades de absorção pelos peixes, sendo assim considerado um fator antinutricional. Os fatores antinutricionais são descritos como compostos ou classes de compostos contidos em alimentos de origem vegetal que reduzem o valor nutritivo, interferem na digestibilidade, absorção ou utilização de nutrientes, interferindo na eficiência dos processos biológicos do organismo animal (Andrade et al., 2015). Os principais fatores antinutricionais em alimentos incluem ácido fítico, rafinose, saponinas, taninos, inibidores de enzimas, lectinas, gossipol, glucosinolatos, goitrogênios, ácido oxálico, ácido erúico, alcaloides, β -N-oxalil amino alanina (BOAA) e cianeto de hidrogênio (HCN) (Samtiya et al., 2020; Thakur et al., 2019). Estudos indicam que na presença desses fatores, o fósforo pode ter sua biodisponibilidade reduzida, tornando-o indisponível para absorção e posterior utilização em processos fisiológicos e metabólicos fundamentais (Guimarães et al., 2014).

2.3. NÍVEIS DE FÓSFORO NAS DIETAS PARA PEIXES

O P é o mineral mais crítico na dieta de peixes, sendo exigido em grandes quantidades, mas há pouca disponibilidade na água e sua absorção é limitada (Volkoff e London, 2018). Em geral, os peixes conseguem absorver uma pequena quantidade de minerais do meio aquático através de trocas iônicas pelas brânquias (Furuya et al., 2008). Entretanto, a disponibilidade de P no ambiente aquático é significativamente inferior às exigências nutricionais dos peixes. Isso ocorre porque, ao entrar em contato com o meio, o fósforo é rapidamente assimilado por organismos da cadeia alimentar, como fitoplânctons, ou é adsorvido pelo sedimento, tornando-se quimicamente indisponível. Devido à sua alta afinidade com partículas do solo, o P tende a se fixar em formas não solúveis, reduzindo drasticamente sua presença na coluna d'água. Em condições naturais, a concentração de P disponível na água é extremamente baixa, estimada em torno de 0,005%, o que torna inviável o atendimento das exigências nutricionais apenas com a absorção ambiental desse mineral (Wang et al., 2017).

Os níveis de exigência de P na alimentação de peixes podem variar de 0,25% a 1,0%, dependendo da fonte mineral utilizada, da espécie, das características do sistema digestório e do estágio de produção. Animais em fases iniciais, por exemplo, demandam maiores quantidades do mineral para garantir um adequado desenvolvimento (Pezzato et al., 2006). Para tilápias, os níveis de exigência de fósforo variam de 0,46% a 0,9%, dependendo das

condições experimentais, do tipo de dieta, dos critérios de avaliação e dos métodos estatísticos empregados (Pinto, 2008).

A inclusão de P nas dietas deve variar de 0,29% a 0,75% de fósforo disponível, dependendo da espécie. As exigências desse mineral são mais elevadas nas fases iniciais de criação e diminuem progressivamente ao longo do ciclo produtivo, podendo ser reduzidas em até 42% na fase de acabamento (Quintero-Pinto et al., 2011). Os valores de exigência em P nas diferentes fases para as espécies tilápia-do-nilo, tambaqui e pacu estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Valores de exigência para as espécies onívoras mais produzidas no Brasil de acordo com a fase de produção (peso) e a fonte de fósforo (ingrediente).

| Espécie | Peso (g) | Ingrediente | Nível de Fósforo (%) | Referência |
|-----------------------|--------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Oreochromis niloticus | 0,27 ± 0,04 | fosfato bicálcico | 0,75 | Pezzato et al. 2006 |
| Oreochromis niloticus | 140–580 | fosfato bicálcico | 0,66 | Schamber 2008 |
| Oreochromis niloticus | 0,41 ± 0,30 | fosfato bicálcico | 0,52 | Furuya et al. 2008 |
| Oreochromis niloticus | 35–100 | fosfato bicálcico | 0,48 | Furuya et al. 2008 |
| Oreochromis niloticus | 0,60 ± 0,02 | fosfato monoamônio | 1,1 | Ribeiro et al. 2006 |
| Oreochromis niloticus | 15–40 | fosfato bicálcico | 0,77 | Pinto 2008 |
| Oreochromis niloticus | 40–126 | fosfato bicálcico | 0,53 | Pinto 2008 |
| Oreochromis niloticus | 126–250 | fosfato bicálcico | 0,5 | Pinto 2008 |
| Oreochromis niloticus | 250–350 | fosfato bicálcico | 0,45 | Pinto 2008 |
| Collossoma macropomum | 26,4 ± 0,68 | fosfato dicálcico | 0,55 | De Souza et al. 2018 |
| Collossoma macropomum | 0,51 ± 0,06 | fosfato bicálcico | 0,71 | Souza et al. 2017 |
| Collossoma macropomum | 26,49 ± 0,68 | fosfato bicálcico | 0,46 | Souza et al. 2017 |
| Collossoma macropomum | 100–500 | fosfato bicálcico | 0,18 | Feitosa 2017 |
| Collossoma macropomum | 100–500 | fosfato bicálcico | 1,02 | Porto 2017 |
| Collossoma macropomum | 144 ± 2,0 | fosfato bicálcico | 0,7 | Araújo et al. 2017 |

| Espécie | Peso (g) | Ingrediente | Nível de Fósforo (%) | Referência |
|-------------------------|----------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Colossoma macropomum | 17–150 | fosfato de potássio | 0,63 | Menezes et al. 2021 |
| Piaractus mesopotamicus | 25,9 ± 1,32 | fosfato bicálcico | 0,4 | Signor et al. 2011 |
| Piaractus mesopotamicus | 115,23 ± 11,61 | fosfato bicálcico | 0,6 | Diemer et al. 2011 |
| Colossoma macropomum | — | fosfato de potássio | — | Menezes et al. 2025 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4. CONSEQUÊNCIA DOS NÍVEIS INADEQUADOS DE FÓSFORO

Entre os minerais, o P é o que apresenta maior importância nas formulações de rações, pois a ingestão inadequada de P provoca alterações nas vilosidades intestinais e na mineralização óssea, podendo reduzir a eficiência de utilização de aminoácidos para a deposição de proteína corporal em peixes e, conseqüentemente, aumentar a excreção de nitrogênio no ambiente (Quintero-Pinto et al., 2011; Santos, 2012; Zafar e Khan, 2018). Estudos indicam que a deficiência de P leva à supressão do crescimento, baixa mineralização óssea e comprometimento das funções imunológicas (Chen et al., 2018; Fjellidal et al., 2016). Em dietas com níveis insuficientes de fósforo, ocorre a mobilização de fosfato de cálcio a partir dos ossos, o que reduz a deposição mineral e compromete o processo de ossificação (Fontagné et al., 2009).

Por outro lado, quando os níveis de P na ração são excessivos, a eficiência de sua utilização é significativamente reduzida, resultando em maior excreção do mineral no ambiente, contribuindo para a eutrofização dos ecossistemas aquáticos. Diante disso, torna-se essencial ajustar com precisão a concentração dietética de fósforo, de modo a atender, mas não exceder, as exigências nutricionais dos peixes (Furuya et al., 2008, Furuya et al., 2010; Musharraf e Khan, 2019;).

Além disso, a deficiência de P na dieta pode comprometer a digestibilidade de nutrientes como carboidratos e lipídeos, e, conseqüentemente, a eficiência do aproveitamento energético pelos peixes, uma vez que o fósforo desempenha papel fundamental em processos metabólicos e na transferência de energia via ATP (Lehninger, 1995). Entre os impactos metabólicos associados à deficiência desse mineral, destaca-se o

acúmulo de gordura corporal, frequentemente relacionado ao aumento da gliconeogênese hepática. Esse processo leva à conversão de aminoácidos em ácidos graxos, refletindo negativamente na qualidade do pescado (Quintero-Pinto et al., 2011).

Há também evidências de que a deficiência de P afeta diretamente o desempenho zootécnico, provocando sinais clínicos como anorexia, menor mineralização óssea, redução da eficiência alimentar e acúmulo excessivo de gordura, comprometendo o crescimento final dos peixes (Souza et al., 2018). Além disso, peixes submetidos à dietas com níveis de P inferiores às exigências nutricionais apresentaram alterações nas vilosidades intestinais, prejudicando a absorção e a digestibilidade de nutrientes. Também foram identificados prejuízos na utilização de aminoácidos para a deposição de proteína corporal, na eficiência alimentar e na mineralização óssea (Souza et al., 2017).

Além disso, estudos demonstram que rações para peixes com fósforo em excesso podem ocasionar alterações físicas nas características da carcaça (Van Der Ploeg e Boyd, 1991; English et al., 1993). Um dos critérios nutricionais relacionados ao fósforo dietético é a resistência a infecção. Alguns parâmetros de origem fisiológicos e metabólicos podem ser afetados com a redução dos níveis de P, como mudanças na conformação do perfil de ácidos graxos e fosfolípidos, que podem levar a mudanças na fluidez das membranas celulares (Sugiura et al., 2004).

2.5. VALORES DE DIGESTIBILIDADE DE FÓSFORO PARA TILÁPIA, PACU E TAMBAQUI.

A biodisponibilidade do fósforo dos alimentos é medida por meio dos ensaios de digestibilidade, que são fundamentais para a elaboração de dietas com menor custo, melhor eficiência alimentar e ambientalmente eficientes (Bueno et al., 2012). Os estudos de digestibilidade têm como objetivo determinar o valor nutricional do alimento, em que a digestibilidade vai depender de fatores como composição química e da capacidade digestiva do animal em digerir e absorver o alimento. Estes estudos são amplamente explorados na nutrição, com o objetivo de avaliar ingredientes e/ou dietas e quantificar o aproveitamento pelos peixes (Da Mota et al., 2015).

Assim como na exigência dietética de fósforo, vários trabalhos apontam que o coeficiente de digestibilidade aparente do fósforo pode variar de acordo com a espécie, fase de crescimento e o ingrediente utilizado como fonte de fósforo (Guimarães et al., 2014; Nervis et al., 2015; Pinto et al., 2017). É importante salientar que os peixes podem apresentar

exigência nutricional e digestibilidade variadas nas diferentes fases do ciclo produtivo, além de haver uma tendência de redução na taxa de crescimento, pois com o desenvolvimento do animal, a proporção de nutrientes na dieta também reduz. Ao longo do ciclo de produção, a exigência em fósforo pode ser reduzida em até 25% para truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e a taxa de excreção reduzida em até 12,5% (Lellis et al., 2004).

Em relação as espécies nativas, foi evidenciado que o tambaqui (*Colossoma macropomum*) parece ter capacidade de digestão do fósforo fítico quando utilizados ingredientes vegetais como fonte de P (Guimarães et al., 2014). Resultados semelhantes foram observados para a carpa-comum (*Ciprinus carpio*) (Ellestad et al., 2002) e truta-arco-íris (Forster et al., 1999), que demonstraram capacidade de digerir aproximadamente 5% de fósforo fítico dietético. A presença de fitase no epitélio intestinal também foi confirmada em *Anabas testudineus* (Ellestad et al., 2002). Há evidências de que mesmo que algumas espécies de peixe apresentem atividade de fitase endógena, a maioria deles é capaz de digerir uma pequena quantidade de fósforo fítico desses ingredientes. Porém, a tilápia parece ser uma exceção, já que é capaz de digerir quase 50% do fósforo fítico, o que demonstra que a fitase intestinal exerce uma função importante na capacidade dessa espécie em aproveitar o fósforo de ingredientes vegetais. No entanto, existem poucos relatos sobre os mecanismos de absorção e de transporte de fósforo nos peixes, com destaque para as espécies herbívoras e onívoras, levando a conclusões limitadas (Araújo et al., 2017).

A adição da fitase em rações de espécies que apresentam baixa capacidade de aproveitamento de P devido à limitação na produção endógena já está sendo avaliada e apresentando resultados satisfatórios (Kumar et al., 2012). Apesar de onerar o custo de produção de rações, essa é uma estratégia interessante de mitigação dos impactos ambientais e melhor aproveitamento do P pelos peixes. Na tabela 3 estão apresentados os valores de CDA de diferentes ingredientes em diferentes fases de cultivo para tilápia do nilo, tambaqui e pacu.

Tabela 3: Valores de CDA para as espécies onívoras mais produzidas no Brasil de acordo com a fase de produção (peso) e a fonte de fósforo (ingrediente).

| Espécie | Ingrediente ² | Peso (g) | CDA (%) | Nível de P (%) | Referência |
|--------------------------------|--------------------------|----------|---------|----------------|--------------------|
| <i>Oreochromis niloticus</i> | FCO de tilápia | 50 | 37,44 | 0,61 | Godoy et al. 2016 |
| | FCO de bagre africano | | 47,62 | 0,73 | |
| | FCO de catfish | | 44,07 | 0,67 | |
| | FCO de pintado | | 52,21 | 0,2 | |
| <i>Oreochromis niloticus</i> | FP | 25 | 52,45 | 3,201 | Pinto et al. 2017 |
| | | 250 | 51,57 | | |
| | | 500 | 49,57 | | |
| | FVA | 25 | 45,94 | 2,541 | |
| | | 250 | 45,77 | | |
| | | 500 | 46,6 | | |
| | FCO | 25 | 43,11 | 6,851 | |
| | | 250 | 45,48 | | |
| | | 500 | 43,77 | | |
| | GM | 25 | 24,88 | 0,541 | |
| | | 250 | 30,78 | | |
| | | 500 | 32,84 | | |
| | FS | 25 | 24,01 | 0,731 | |
| | | 250 | 27,6 | | |
| | | 500 | 28,62 | | |
| | FA | 25 | 38,09 | 1,301 | |
| | | 250 | 43,39 | | |
| | | 500 | 44,06 | | |
| | FMBC | 25 | 93,56 | 18,961 | |
| | | 250 | 89,17 | | |
| 500 | | 88,76 | | | |
| FBC | 25 | 94,29 | 19,891 | | |
| | 250 | 94,95 | | | |
| | 500 | 93,84 | | | |
| FMK | 25 | 93,91 | 24,111 | | |
| | 250 | 93,1 | | | |
| | 500 | 90,22 | | | |
| AF | 25 | 99,6 | 28,001 | | |
| | 250 | 97,31 | | | |
| | 500 | 97,16 | | | |
| <i>Colossoma macropomum</i> | GM, FBC | | 87,9 | 0,34 | Araújo et al. 2017 |
| | | | 84,3 | 0,66 | |
| | | | 81,6 | 0,94 | |
| | | | 80,9 | 1,12 | |
| | | | 82,7 | 1,35 | |
| <i>Piaractus mesopotamicus</i> | FBC | | 70,5 | 0,6 | Nervis et al. 2015 |
| | | | 58,55 | 0,8 | |
| | | | 50,72 | 1 | |
| | | | 44,25 | 1,2 | |
| | | | | | |

¹ Valores de fósforo dos ingredientes

² Farinhas de peixe (FP), vísceras de aves (FVA) e carne e ossos (FCO); glúten de milho (GM), farelo de soja (FS) e farelo de algodão (FA); fosfatos monobicálcico (FMBC), bicálcico (FBC) e monopotássico (FMK); e ácido fosfórico (AF).

A fosfatase alcalina intestinal (ALP) é uma enzima primária da borda em escova importante na absorção de nutrientes como glicose, lipídios, fosfato inorgânico e cálcio (Dupuis et al., 1991). Além disso, desempenha diversas funções no intestino, como regulação do pH, aquisição de gordura e resposta anti-inflamatória, bem como a regulação do microbioma intestinal e enzimas homeostáticas (Lallès, 2014; Lallès, 2019; Rader, 2017; Yang et al., 2012). A ALP contém hidrolase, que é mais eficaz em um ambiente alcalino (Wang et al., 2017). Mais da metade das publicações revisadas relataram maior atividade de ALP no segmento anterior do intestino, atividade moderada na porção média e menor atividade no segmento posterior, em peixes submetidos a diferentes fases de cultivo (Lallès, 2019). Baixos níveis de P na dieta podem acarretar baixa atividade de fosfatase intestinal, o que pode levar a baixa digestão e absorção do fósforo e outros nutrientes, o que explica as baixas taxas de crescimento e problemas relacionados a má formação óssea. Além disso, a elevação nas taxas de eliminação de fósforo não absorvido pode acelerar o processo de eutrofização dos corpos hídricos (Araújo et al., 2017; Pontes, 2015; Sugiura et al., 2004).

2.6. A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE

A alimentação de peixes está diretamente associada à qualidade da água e ao impacto ambiental da aquicultura, uma vez que os efluentes gerados contém elevada carga de minerais, especialmente o P. Nesse contexto, a formulação de dietas balanceadas e economicamente viáveis, aliada a um manejo alimentar adequado, é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção aquícola (Araújo et al., 2017; Menezes et al., 2021; Pinto et al., 2017).

O P, por sua função essencial no metabolismo animal, incluindo sua participação na formação do ATP, é frequentemente suplementado nas rações. No entanto, nem todo o fósforo fornecido é aproveitado pelos peixes. Parte é perdida por lixiviação da ração e outra parte é excretada pelas fezes, contribuindo para a carga de nutrientes nos corpos hídricos. A quantidade de P liberado depende de fatores como o nível e a forma química do mineral na dieta, bem como da eficiência no fornecimento alimentar (Araripe et al., 2006).

O acúmulo excessivo de nutrientes no meio aquático, especialmente de P, favorece o processo de eutrofização, caracterizado pela proliferação descontrolada de algas macrófitas aquáticas. Esse fenômeno compromete a qualidade da água e pode ser intensificado por fontes externas como fertilizantes agrícolas, escoamento urbano, resíduos industriais e

dejetos domésticos e zootécnicos (Klein e Agne, 2012; Lazzari e Baldisserotto, 2008). O crescimento exagerado de organismos fotossintetizantes, seguido por sua decomposição, leva à redução dos níveis de oxigênio dissolvido, gerando ambientes anóxicos, prejudicando o uso da água para abastecimento e lazer, e podendo provocar a morte massiva de peixes por hipóxia (Klein e Agne, 2012). Além disso, as descargas de P e N oriundas de fontes pontuais e difusas intensificam a eutrofização, agravando seus impactos em ecossistemas aquáticos. As consequências incluem a degradação da qualidade da água potável, prejuízos à biodiversidade aquática e limitações ao uso recreativo dos corpos hídricos (Knight, 2021; Zhang et al., 2023).

Apesar de os peixes possuírem certa capacidade de absorver P diretamente da água, sua disponibilidade em ambientes dulcícolas é geralmente insuficiente para suprir as exigências nutricionais, especialmente em sistemas intensivos e semi-intensivos. Assim, a dieta torna-se a principal fonte desse mineral (NRC, 2011). Vale destacar que as exigências nutricionais de P variam de acordo com a fase de desenvolvimento do peixe e com fatores fisiológicos e ambientais, tendendo a diminuir à medida que os animais crescem (Lellis et al., 2004). No entanto, ainda há carência de dados consistentes sobre as exigências de P, sobretudo para espécies nativas, o que limita o avanço de estratégias nutricionais mais sustentáveis.

Ainda, a eutrofização gera um efeito direto na atmosfera, já que esse fenômeno está ligado à emissão de gases causadores do efeito estufa. O aumento da biomassa formada por organismos mortos e por partículas fecais resulta no aumento da ciclagem de nutrientes mediada por micro-organismos, que emitem gases como CO₂, N₂O e CH₄ (Bicudo, 2010; Li et al., 2021; Giang, 2012).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível observar que as exigências e digestibilidade de fósforo podem variar de acordo com a espécie, fase de cultivo e ingrediente utilizado como fonte de fósforo. Conhecer os níveis ideais e a biodisponibilidade do P nos ingredientes é importante para minimizar a excreção de fósforo para o meio aquático e garantir o máximo desempenho dos peixes. Fontes de P de origem vegetal apresentam menor disponibilidade de P e seu aproveitamento vai depender da produção da enzima fitase. A adição dessa enzima nas rações também tem sido avaliada objetivando melhorar a digestibilidade e aproveitamento do fósforo, além de reduzir a excreção desse mineral para os corpos hídricos, prevenindo o processo de eutrofização que

pode alterar o ecossistema aquático. Assim, estudos nessa vertente são recomendados com o objetivo de produzir rações eficientemente econômicas e ambientalmente viáveis.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, T. V.; SANTOS, R. N. V.; ARAÚJO, D. J.; BRAULINO, D. S.; PEREIRA DE MOURA, M. V. B. T.; BORGES, L. S. Efeito de fatores antinutricionais encontrados nos alimentos alternativos e seu impacto na alimentação de não ruminantes: revisão. *Revista Eletrônica Nutri Time*, v. 12, n. 6, p. 4393–4399, nov./dez. 2015.
- ARARIPE, M. N. B.; SEGUNDO, L. F. F.; LOPES, J. B.; ARARIPE, H. G. A. Efeito do cultivo de peixes em tanques-rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 8, n. 2, p. 101–108, 2006.
- ARAÚJO, J. G.; GUIMARÃES, I. G.; MOTA, C. S.; PAULA, F. G. DE; CAFÉ, M. B.; PÁDUA, D. M. C. Dietary available phosphorus requirement for tambaqui, *Colossoma macropomum*, juveniles based on growth, haematology and bone mineralization. *Aquaculture Nutrition*, v. 23, n. 4, p. 822–832, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (Abiove). *Estudo técnico-científico sobre a viabilidade de utilização do farelo de algodão na alimentação animal*. São Paulo: Abiove, [s.d.]. Disponível em: https://abiove.org.br/abiove_content/Abiove/Relatorio-de-Farelo-de-algodao.pdf. Acesso em: 24 jul. 2025.
- BARONE, R. S. C. Ração é o principal insumo da produção aquícola. In: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (Cna). *Ativos da aquicultura*. Brasília, DF: Cna, 2017. v. 3, ed. 13, p. 1–8.
- BAUER, W.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; TESSER, M. B.; WASIELESKY JUNIOR, W.; POERSCH, L. H. Substitution of fishmeal with microbial floc meal and soy protein concentrate in diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 342–343, p. 112–116, 2012.
- BERTÓLI, C. D. *Nutrição animal aplicada e alimentação dos animais domésticos*. Camboriú, SC: Instituto Federal Catarinense – Campus Camboriú, 2010.
- BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.
- BOMFIM, M. A. D. Estratégias nutricionais para redução das excreções de nitrogênio e fósforo nos sistemas de produção de peixes no Nordeste: sustentabilidade ambiental e aumento da produtividade. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 15, n. 2, p. 122–140, 2013.
- BUENO, G. W.; FEIDEN, A.; NEU, D. H.; LUI, T. A.; WÄCHTER, N.; BOSCOLO, W. R. Digestibilidade do fósforo em dietas como estratégia nutricional para redução de efluentes da

- tilapicultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 64, n. 1, p. 183–191, 2012.
- BUREAU, D. P.; HUA, K. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, v. 41, n. 5, p. 777–792, 2010.
- CAMOLEZE, E. Tilápia: o segundo peixe mais consumido no mundo. *Animal Business Brasil*, 2025. Disponível em: <https://animalbusiness.com.br/tilapia-o-segundo-peixe-mais-consumido-do-mundo/>. Acesso em: 8 dez. 2025.
- CHEN, M. H.; SUN, Y. Y.; KONG, C. M.; TANG, H. J.; GAN, L. Effects of dietary phosphorus levels on growth and body composition of crucian carp (*Carassius auratus*) in indoor and outdoor experiments. *Aquaculture Nutrition*, v. 23, n. 4, p. 702–709, 2017.
- CHEN, W. Y.; YUAN, Y. C.; YANG, H. J.; GONG, S. Y.; LUO, Z.; YU, D. H. Dietary phosphorus requirement of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. *Aquaculture*, v. 484, p. 165–171, 2018.
- CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA (Nrc). *Requisitos nutricionais de peixes e camarões*. Washington, DC: National Academies Press, 2011. v. 1, p. 1–376.
- CYRINO, J. E. P.; BUREAU, D. P.; HUA, K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 68–87, 2010.
- DA MOTA, C. S.; ARAÚJO, J. G.; PÁDUA, D. M. C.; MARTINS, G. P.; GUIMARÃES, I. G. Testing various faeces-collecting methods to improve digestibility studies with tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816). *Journal of Applied Ichthyology*, v. 31, p. 102–109, 2015.
- DA SILVA, A. Y. H.; COZZOLINO, S. M. F. FÓSFORO. In: Cozzolino, S. M. F. (org.). *Biodisponibilidade de nutrientes*. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2007. p. 447–458.
- DATO-CAJEGAS, C. R. S.; YAKUPITIYAGE, A. The need dietary mineral supplementation for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultured in a semi-intensive system. *Aquaculture*, v. 144, p. 227–237, 1996.
- DE SOUSA, T. J. R.; SANTOS, E. L.; SILVA, P. C.; CAMPOS, M. C. F.; BRASIL, E. M.; GUIMARÃES, I. G. Exigência de fósforo para juvenis de tambaqui. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n. 5, p. 2145–2156, 2018.
- DELMASCHIO, I. Enzimas na alimentação de animais monogástricos: revisão de literatura. *Revista Científica de Medicina Veterinária – Unorp*, v. 2, n. 1, p. 6–20, 2018.
- DIEMER, O.; BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A. A.; SARY, C. N. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em tanques-rede. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, p. 559–563, 2011.

- DUARTE, Stefano Francisco Pereira. *Formulação de rações versáteis para ajuste da relação N:P:K em sistemas de aquaponia: desempenho e higidez de juvenis de tilápia-do-Nilo (Oreochromis niloticus) e qualidade e quantidade na produção de biomassa de alface*. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências — Ciência Animal e Pastagens) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.
- DUPUIS, Y.; TARDIVEL, S.; POREMBSKA, Z.; FOURNIER, P. Effect of some phosphatase inhibitors on intestinal calcium transfer. *International Journal of Biochemistry*, v. 23, p. 175–180, 1991.
- ELAMAWY, A.; HEGAZI, E.; NASSEF, E.; ABOUZEID, T. K.; ZAKI, A. G.; ISMAIL, T. Dietary inclusion of nano-phosphorus improves growth performance, carcass quality and growth-related traits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and alleviates water phosphorus residues. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 49, n. 3, p. 529–542, 2023.
- ELLESTAD, L. E.; ANGEL, R.; SOARES, J. H. Intestinal phytase II: a comparison of activity and in vivo phytate hydrolysis in three teleost species with differing digestive strategies. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 26, p. 259–273, 2002.
- ENGE PESCAS – REDES PARA AQUICULTURA. Criação de peixes em cativeiro pode ser uma excelente alternativa de negócio. Disponível em: <https://www.engepesca.com.br/post/criacao-de-peixes-em-cativeiro-pode-ser-uma-excelente-alternativa-de-negocio>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- ENGLISH, W. R.; SCHWEDLER, T. E.; DYCK, L. A. *Aphanizomenon flos-aquae*, a toxic blue green alga in commercial channel catfish, *Ictalurus punctatus*, ponds: a case history. *Journal of Applied Aquaculture*, v. 3, p. 195–209, 1993.
- FEITOSA, A. S. *Níveis de fósforo digestível em dietas para tambaqui (Colossoma macropomum) na faixa de peso entre 100 e 500 gramas*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.
- FERREIRA, A. H. C.; LOPES, J. B. Uso da fitase na alimentação de frangos de corte: revisão. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 9, n. 4, p. 1854–1860, 2012.
- FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, v. 199, p. 197–227, 2001.
- FURUYA, W. M.; FUJII, K. M.; SANTOS, L. D.; SILVA, T. S. C.; SILVA, L. C. R.; MICHELATTO, M. Exigência de fósforo disponível para tilápia-do-nilo (35 a 100 g). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 961–966, 2008.
- FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; BOSCOLO, W. R.; CYRINO, J. E. P.; FURUYA, V. R. B.; FEIDEN, A. *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*. Toledo, PR: GFM, 2010. v. 1, p. 1–100.
- GAMBLE, M. M.; SARKER, P. K.; KAPUSCINSKI, A. R.; KELSON, S.; FITZGERALD, D. S.; SCHELLING, B.; SOUZA, A. V. B. DE; TSUKUI, T. Toward environmentally sustainable aquafeeds:

- managing phosphorus discharge from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) aquaculture with microalgae-supplemented diets. *Elementa: Science of the Anthropocene*, v. 9, 00170, 2021.
- GANGA, R.; TIBBETTS, S. M.; WALL, C.; PLOUFFE, D. A.; BRYENTON, M. D.; PETERS, A. R.; RUNIGHAN, D.; BUCHANAN, J. T.; LALL, S. Influence of feeding a high plant protein diet on growth and nutrient utilization to combined “all-fish” growth-hormone transgenic diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, v. 446, p. 272–279, 2015.
- GIANG, P. H.; HARADA, H.; FUJII, S.; LIÊN, N. P. H.; HAI, H. T.; TANAKA, S.; KUNACHEVA, C. *Waste and wastewater management and its impacts in a sub-urban community in Hanoi, Vietnam: a nitrogen and phosphorus flow analysis*. Doboku Gakkai Ronbunshu, v. 9, p. 1-9, 2012.
- GODOY, A. C.; FRIES, E.; CORRÊIA, A. F.; MELO, I. W. A.; RODRIGUES, R. B.; BOSCOLO, W. R. Apparent digestibility of fish meat and bone meal in Nile tilapia. *Archivos de Zootecnia*, v. 65, n. 251, p. 341–348, 2016.
- GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; PADILHA, P. M.; BARROS, M. M. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 1473–1480, 2007.
- GREEN, J. A.; BRANDON, E. L.; HARDY, R. H. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Production-scale study. *Aquaculture Nutrition*, v. 8, p. 291–298, 2002.
- GUIMARÃES, I. G.; MIRANDA, E. C.; ARAÚJO, J. G. Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Animal Feed Science and Technology*, v. 188, p. 150–155, 2014.
- HASSAAN, M. S.; SOLTAN, M. A.; MOHAMMADY, E. Y.; ELASHRY, M. A.; EL-HAROUN, E. R.; DAVIES, S. J. Growth and physiological responses of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed dietary fermented sunflower meal inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*. *Aquaculture*, v. 495, p. 592–601, 2018.
- HERMIDA, P. M. V.; SILVA, L. C.; ZIEGLER, F. L. F. Os micronutrientes zinco e vitamina C no envelhecimento. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 14, n. 2, p. 177–188, 2010.
- HUANG, Q.; LIU, X.; ZHAO, G.; HU, T.; WANG, Y. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, v. 4, p. 137–150, 2018.
- KADER, M. A.; KOSHIO, S.; ISHIKAWA, M.; YOKOYAMA, S.; BULBUL, M.; NGUYEN, B. T.; GAO, J.; LAINING, A. Can fermented soybean meal and squid by-product blend be used as fishmeal replacements for Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)? *Aquaculture Research*, v. 43, n. 10, p. 1427–1438, 2012.

- KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente! *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (Reget)*, v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2012.
- KNIGHT, R. L. Urban stormwater runoff and its effects on receiving waters: a review. *Environmental Pollution*, v. 283, 117065, 2021.
- KUMAR, V.; SINHA, A. K.; MAKKAR, H. P. S.; DE BOECK, G.; BECKER, K. Phytate and phytase in fish nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 96, n. 3, p. 335–364, 2012.
- LAKTUKA, K.; ZIHMANE, K.; POPOVS, S.; BLUMBERGA, D. Challenges and barriers for aquaculture sector: review article on freshwater aquaculture. In: *Proceedings of the CONECT – International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies*. Riga: RTU Press, 2023. p. 122–123.
- LALL, S. P. Phosphorus nutrition and excretion in fish. In: Lim, C.; Webster, C. D. (ed.). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. Binghamton: Food Products Press, 2002. p. 65–96.
- LALLÈS, J. P. Fosfatase alcalina intestinal: novas funções e efeitos protetores. *Nutrition Reviews*, v. 72, p. 82–94, 2014.
- LALLÈS, J. P. Fosfatase alcalina intestinal, inflamação e nutrição: avanços recentes. *Nutrition Reviews*, v. 77, p. 710–724, 2019.
- LAZZARI, R.; BALDISSEROTTO, B. Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 34, n. 4, p. 591–600, 2008.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de bioquímica*. Barcelona: Omega, 1995.
- LELLIS, W. A.; BARROWS, F. T.; HARDY, R. W. Effects of phase-feeding dietary phosphorus on survival, growth, and processing characteristics of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, v. 242, p. 607–616, 2004.
- LI, Y.; SHANG, J.; ZHANG, C.; ZHANG, W.; NIU, L.; WANG, L.; ZHANG, H. Effects of anthropogenic activities on nutrient inputs and eutrophication in river systems. *Science of the Total Environment*, v. 768, 144582, 2021.
- LONDON, S.; VOLKOFF, H. Cloning and effects of fasting on the brain expression levels of appetite-regulators and reproductive hormones in glass catfish (*Kryptopterus vitreolus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 228, p. 94–102, 2019.
- MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 36, n. 2, p. 149–163, 2010.
- MARTINI, L. A. Cálcio e fósforo. In: *Nutrição e metabolismo mineral*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 236.

- MENEZES, L. L. C.; SANTOS, E. L.; SILVA, P. C.; CAMPOS, M. C. F.; BRASIL, E. M.; GUIMARÃES, I. G. A new approach for quantifying phosphorus requirement in *Colossoma macropomum* using CT scanning. *Aquaculture Nutrition*, v. 27, n. 6, p. 1798–1810, 2021.
- MENEZES, L. L. C.; MACHADO, V. M.; SOUTO, C. N.; PROENÇA, D. C.; BUENO, G. W.; GUIMARÃES, I. G. Dietary phosphorus requirement for tambaqui, *Colossoma macropomum*, in the grow-out phase. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 109, n. 8, p. 1–12, 2025.
- MENG, F.; XIE, C.; XIA, W.; ZHAI, S.; ZHANG, J.; ZHANG, Q.; HU, J. A substituição de farinha de peixe por farelo de soja extrusado em dietas não afetou o desempenho de crescimento, as atividades das enzimas hepáticas, mas a tolerância à hipóxia de juvenis de Dolly Varden (*Salvelinus malma*). *Aquaculture Research*, v. 51, n. 1, p. 379–388, 2020.
- MILES, R. D.; CHAPMAN, F. A. *The benefits of fish meal in aquaculture diets*. Gainesville: University of Florida, 2015. (Extension Series FA122). p. 1–8.
- MILIÁN-SORRIBES, M. C.; MARTÍNEZ-LLORÉNS, S.; CRUZ-CASTELLÓN, C.; JOVER-CERDÁ, M.; TOMÁS-VIDAL, A. Effect of fish oil replacement and probiotic addition on growth, body composition and histological parameters of yellowtail (*Seriola dumerili*). *Aquaculture Nutrition*, v. 27, n. 1, p. 3–16, 2021.
- MOODY, E. K.; HARTMAN, K. J.; KLINE, R. J.; ZIPPIN, D. B. Diet composition affects the rate and N:P ratio of fish excretion. *Freshwater Biology*, v. 60, n. 3, p. 456–465, 2015.
- MUSHARRAF, M.; KHAN, M. A. Effects of different dietary phosphorus levels on growth, nutrient retention, and whole-body composition of fingerling rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture International*, v. 27, p. 193–208, 2019.
- NERVIS, J. A. L.; FEIDEN, A.; MORO, E. B.; MORENO, M. C.; KLEIN, S.; BOSCOLO, W. R. Apparent digestibility of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) diets containing different levels of phosphorus. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 6, p. 4553–4563, 2015.
- PEIXE BR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. *Anuário Peixe BR da Piscicultura 2025*. São Paulo: Peixe BR, 2025. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br>. Acesso em: 23 out. 2025.
- PERVIN, M. A.; JAHAN, H.; AKTER, R.; OMAR, A.; HOSSAIN, Z. Avaliação de diferentes níveis de farelo de soja em dietas sobre o crescimento, atividade de enzimas digestivas, antioxidação e histologia intestinal de tilápia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 46, n. 4, p. 1397–1407, 2020.
- PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FURUYA, W. M. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 43–51, 2009.

- PINTO, L. G. Q. *Exigências dietárias e disponibilidade de fontes de fósforo*. Jaboticabal: Unesp, 2008. Tese (Doutorado em Zootecnia).
- PONTES, T. C.; CAGOL, L.; DUTRA, F. M.; PORTZ, L. Disponibilidade do fósforo em alimentos de origem vegetal: atuação na nutrição de peixes. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia*, v. 18, n. 3, p. 7, 2015.
- PORTO, N. G. *Níveis dietéticos de fósforo sobre as características de carcaça de tambaqui na fase entre 100 a 500 gramas*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.
- QIAN, H.; GREGORY, E. M.; KORNEGAY, E. T. Characterization of *Aspergillus niger* phytase and investigation of the inhibitory effect of cations on the phytase activity. *Journal of Animal Science*, v. 74, p. 18–24, 1996.
- QUINTERO-PINTO, L.; VIEIRA, M. R.; FRACALOSSO, D. M. Exigência de fósforo para o crescimento de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 2, p. 280–286, 2011.
- QUINTERO-PINTO, L.; VIEIRA, M. R.; FRACALOSSO, D. M. Exigências e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápias. *Veterinária e Zootecnia*, v. 2, n. 5, p. 30–43, 2011.
- RADER, B. A. Fosfatase alcalina, uma proteína imune não convencional. *Frontiers in Immunology*, v. 8, 897, 2017.
- REIS, F. Y. T.; SANTOS, E. L.; GUIMARÃES, I. G.; DIAS, J. A. R.; ASSIS, G. C.; FIGUEIREDO, H. C. P. Susceptibility of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to Nile tilapia-derived *Streptococcus agalactiae* and *Francisella orientalis*. *Microorganisms*, v. 12, n. 12, 2440, 2024.
- RIBEIRO, F. B.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; PEZZATO, A. C. N. Níveis de fósforo total em dietas para alevinos de tilápia-do-nylo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 1588–1593, 2006.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. T.; BRITO, C. O. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.
- SAMTIYA, M.; ALUKO, R. E.; DHEWA, T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, v. 2, n. 1, p. 1–14, 2020.
- SANTOS, E. L.; WINTERLE, W. M. C.; LUDKE, M. C. M. M.; BARBOSA, J. M. Digestibilidade de ingredientes alternativos para tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*): revisão. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 3, n. 2, p. 135–149, 2008.

- SANTOS, V. G. *Exigência de fósforo para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum) com base no desempenho produtivo e parâmetros fisiológicos*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- SCHAMBER, C. R. *Exigência de fósforo para tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) na terminação*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- SCHINDLER, D. W.; CARPENTER, S. R.; CHAPRA, S. C.; HECKY, R. E.; ORIHIEL, D. M. Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. *Environmental Science & Technology*, v. 50, n. 17, p. 8923–8929, 2016.
- SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; REIDEL, A.; KLEIN, S.; SIGNOR, A. Fósforo na alimentação de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 2646–2650, 2011.
- SOTO, D.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; HISHAMUNDA, N. Building an ecosystem approach to aquaculture: FAO/Universitat de les Illes Balears expert workshop, 7–11 May 2007, Palma de Mallorca, Spain. In: *FAO fisheries and aquaculture proceedings*. Rome: FAO, 2008. v. 14, p. 1–221.
- SOUSA, T. J. R.; SANTOS, E. L.; SILVA, P. C.; CAMPOS, M. C. F.; BRASIL, E. M.; GUIMARÃES, I. G. Exigência de fósforo para tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes faixas de peso. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 18, n. 4, p. 775–784, 2017.
- STRAIN, J. J.; CASHMAN, K. D. Minerais e oligoelementos. In: *Nutrição e metabolismo dos nutrientes*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. v. 1, p. 205.
- SUGIURA, S. H.; HARDY, R. W.; ROBERTS, R. J. The pathology of phosphorus deficiency in fish: a review. *Journal of Fish Diseases*, v. 27, n. 5, p. 255–265, 2004.
- SUGIURA, S. H. Urinary phosphorus excretion in fish: environmental and aquaculture implications. *Aquatic Living Resources*, v. 38, e7, p. 1–12, 2025.
- THAKUR, A.; SHARMA, V.; THAKUR, A. Uma visão geral dos fatores antinutricionais em alimentos. *International Journal of Chemical Studies*, v. 7, n. 1, p. 2472–2479, 2019.
- VAN DER PLOEG, M.; BOYD, C. E. Geosmin production by cyanobacteria (blue green algae) in fish ponds at Auburn, Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 22, p. 207–216, 1991.
- WANG, Y. Z.; SUN, J. F.; LV, A. J.; ZHANG, S. L.; SUNG, Y. Y.; SHI, H. Y.; HU, X. C.; CHEN, S. J.; XING, K. Z. Histochemical distribution of four types of enzymes and mucous cells in the gastrointestinal tract of cultured tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Journal of Fish Biology*, v. 92, p. 3–16, 2017.
- YANG, X. E.; WU, X.; HAO, H. L.; HE, Z. L. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University Science B*, v. 9, p. 197–209, 2008.

- YANG, Y. Y.; WANDLER, A. M.; POSTLETHWAIT, J. H.; GUILLEMIN, K. Dynamic evolution of the LPS detoxifying enzyme, intestinal alkaline phosphatase, in zebrafish and other vertebrates. *Frontiers in Immunology*, v. 3, 314, 2012.
- ZAFAR, A.; KHAN, M. A. Effects of dietary phosphorus on growth, nutrient utilization, whole-body composition and hematological parameters of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala*. *Aquaculture International*, v. 26, p. 427–443, 2018.
- ZHANG, C.; LI, Y.; XU, Q.; ZHANG, Y.; WANG, H.; XU, L.; WANG, S.; LIU, X. Spatiotemporal evolution and driving factors of lake eutrophication in China. *Science of the Total Environment*, v. 869, 161706, 2023.

CAPÍTULO IX

ARBORIZAÇÃO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO NO SEMIÁRIDO AFFORESTATION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN THE SEMI-ARID REGION

DOI: 10.51859/amplla.asc6140-9

Maria José de Holanda Leite ¹
Amanda Alves Feitosa ²

¹ Doutora em Ciências Florestais. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal.

² Graduação em Gestão Ambiental e Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

RESUMO

A urbanização contemporânea, quando desprovida de planejamento ambiental, interfere no equilíbrio dos ecossistemas e compromete severamente o bem-estar populacional. Este artigo de revisão analisa a importância estratégica da arborização em ambientes institucionais como ferramenta para mitigar o desconforto térmico e o fenômeno das ilhas de calor, especialmente em regiões de clima quente e seco. A fundamentação teórica demonstra que a vegetação reduz a radiação solar direta e amplia a evapotranspiração, regulando o microclima. Além dos benefícios biofísicos, a arborização é apresentada como um recurso pedagógico indispensável para a educação ambiental crítica, transformando o espaço físico em um laboratório de aprendizagem ativa. Conclui-se que o planejamento arbóreo baseado em espécies nativas e na participação comunitária é um pilar essencial para a sustentabilidade e resiliência das cidades no século XXI.

Palavras-chave: Infraestrutura Verde; Semiárido; Educação Ambiental.

ABSTRACT

Contemporary urbanization, when devoid of environmental planning, interferes with ecosystem balance and severely compromises population well-being. This review article analyzes the strategic importance of afforestation in institutional environments as a tool to mitigate thermal discomfort and the heat island phenomenon, especially in hot and dry climate regions. The theoretical framework demonstrates that vegetation reduces direct solar radiation and increases evapotranspiration, thereby regulating the microclimate. Beyond biophysical benefits, afforestation is presented as an indispensable pedagogical resource for critical environmental education, transforming physical space into an active learning laboratory. It is concluded that tree planning based on native species and community participation is an essential pillar for the sustainability and resilience of cities in the 21st century.

Keywords: Green Infrastructure; Semi-arid; Environmental Education.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada constitui um dos principais vetores de degradação ambiental nas cidades contemporâneas, promovendo alterações drásticas na atmosfera, no uso do solo e na dinâmica climática local (COSTA; SILVA; PERES, 2010). Este fenômeno é particularmente alarmante em regiões de clima semiárido, onde a fragilidade dos ecossistemas e as elevadas temperaturas naturais são potencializadas pela perda da cobertura vegetal (OKE, 1987). A urbanização sem planejamento, caracterizada pela predominância de superfícies impermeáveis, altera o ciclo hidrológico e intensifica o desconforto térmico, culminando na formação de ilhas de calor (GARTLAND, 2010).

A literatura científica contemporânea reforça que a vegetação urbana não é apenas um elemento estético, mas um serviço ecossistêmico vital. Estudos apontam que áreas densamente arborizadas podem registrar temperaturas significativamente inferiores — com reduções de até 6,12 °C, em comparação a zonas desprovidas de sombra (ALBUQUERQUE; LOPES, 2016). Nesse cenário, a arborização planejada surge como uma estratégia de infraestrutura verde capaz de exercer funções ecológicas, sociais e de saúde pública.

No contexto das instituições de ensino, o espaço arborizado ganha uma camada adicional de importância: o potencial pedagógico. Mais do que garantir o conforto ambiental, essas áreas fortalecem a relação entre a comunidade acadêmica e o meio natural, servindo como laboratórios vivos para a educação ambiental (DIAS et al., 2025). Assim, integrar o planejamento arbóreo às práticas de ensino é fundamental para formar cidadãos capazes de responder aos desafios socioambientais do século XXI.

2. METODOLOGIA

O presente estudo fundamenta-se em uma pesquisa de natureza descritiva, pautada em uma revisão bibliográfica sistemática e análise técnica de planejamento ambiental. A abordagem metodológica combinou dados qualitativos e quantitativos sobre serviços ecossistêmicos e conforto térmico. Foram revisadas literaturas clássicas e contemporâneas que tratam do manejo da arborização em regiões de clima quente, priorizando critérios de resiliência e adaptabilidade biológica.

A seleção das referências considerou o zoneamento funcional de áreas institucionais e a procedência geográfica das espécies, defendendo a transição do modelo de paisagismo ornamental para o de infraestrutura verde funcional (LOBODA; DE ANGELIS, 2005). Além

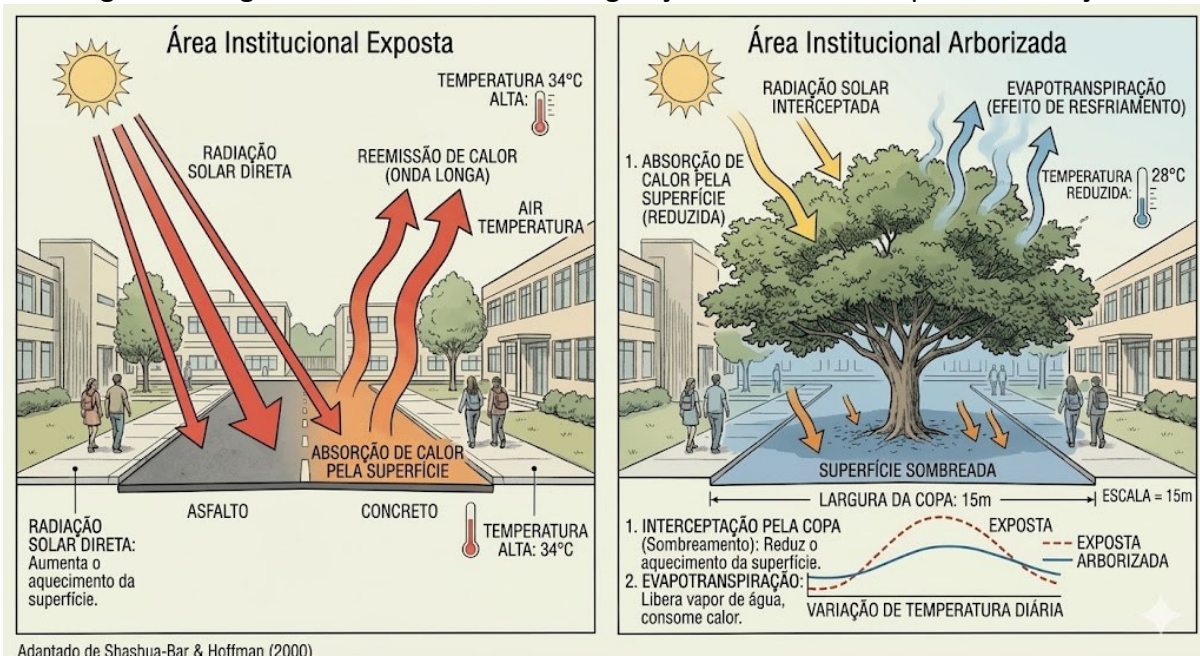
disso, utilizou-se o diagnóstico de percepção ambiental como parâmetro para fundamentar a importância da gestão participativa na manutenção do patrimônio arbóreo institucional.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. EFICIÊNCIA TÉRMICA E MICROCLIMA

A eficácia da arborização na mitigação do calor urbano fundamenta-se na capacidade das árvores de interceptar a radiação solar e realizar a evapotranspiração. Em ambientes institucionais, onde a circulação de pessoas é intensa, o uso de espécies com copas amplas e densas torna-se uma medida de engenharia natural para o conforto térmico (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de mecanismos de regulação microclimática pela arborização.



Segundo Shashua-Bar e Hoffman (2000), a sombra projetada pelas copas reduz drasticamente o aquecimento das superfícies construídas, evitando que o calor seja reemitido para a atmosfera durante a noite. Em ambientes institucionais, onde a circulação de pessoas é intensa, o uso de espécies com copas amplas e densas torna-se uma medida de engenharia natural para o conforto térmico.

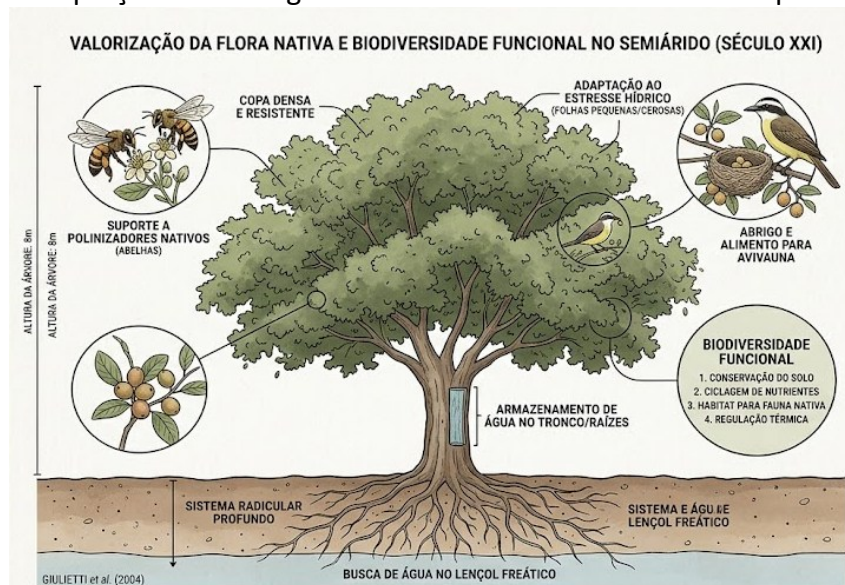
3.2. VALORIZAÇÃO DA FLORA NATIVA E BIODIVERSIDADE

Um ponto crítico discutido na literatura é a procedência das espécies utilizadas. No século XXI, o planejamento urbano sustentável exige a substituição de espécies exóticas por nativas regionais. Espécies do semiárido, como o Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e o Umbuzeiro

(*Spondias tuberosa*), apresentam adaptações evolutivas ao estresse hídrico, garantindo menor custo de manutenção e maior taxa de sobrevivência (GIULIETTI et al., 2004). Além disso, a flora nativa promove a biodiversidade funcional, oferecendo suporte a polinizadores e aves, integrando o ambiente construído ao ecossistema local.

A procedência das espécies é um fator determinante para o sucesso da infraestrutura verde institucional. Conforme ilustrado na Figura 2, espécies como o Juazeiro e o Umbuzeiro não apenas resistem às condições edafoclimáticas rigorosas do semiárido, mas atuam como núcleos de biodiversidade funcional. Elas oferecem recursos essenciais para a fauna local, promovendo um equilíbrio ecológico que as espécies exóticas não conseguem replicar, além de demandarem intervenções de manejo significativamente menores.

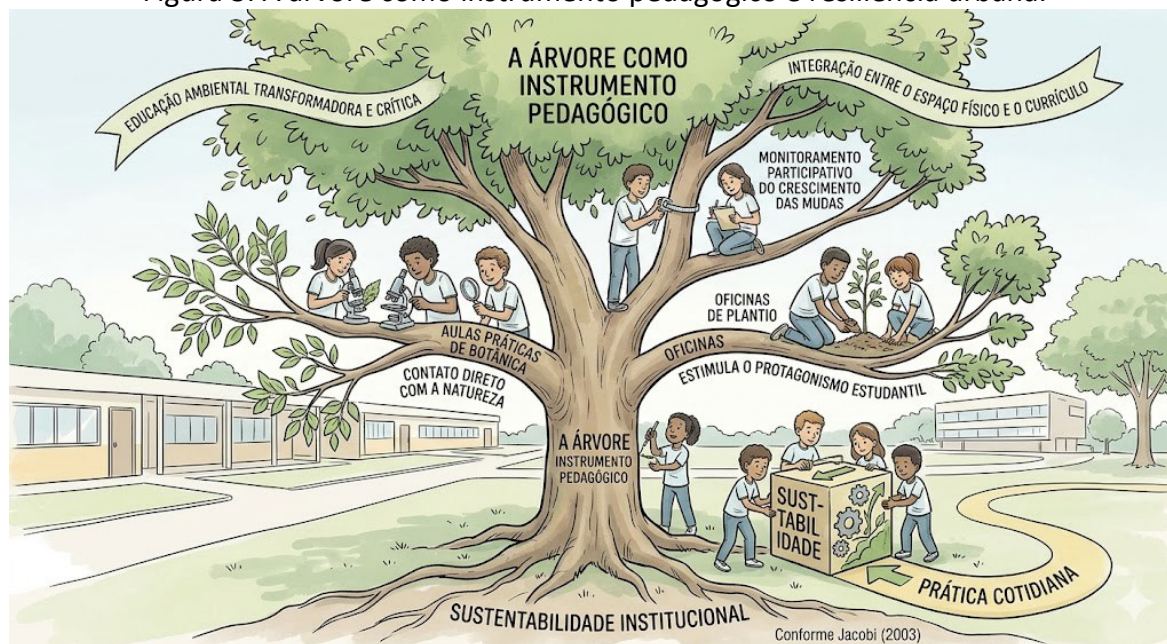
Figura 2: Adaptações morfológicas e biodiversidade funcional de espécies nativas.



3.3. A ÁRVORE COMO INSTRUMENTO PEDAGÓGICO

A integração entre o espaço físico e o currículo é um dos pilares da sustentabilidade institucional. O diagrama conceitual visualiza a integração entre a infraestrutura verde e o currículo institucional. O tronco central, “a árvore”, ramifica-se em diversas “Aulas práticas e oficinas” (botânica, plantio, monitoramento), que estimulam o “protagonismo estudantil”. O fluxo contínuo transforma o conceito abstrato de “sustentabilidade” em uma “prática cotidiana” tangível dentro do campus, alinhando-se aos princípios de “Resiliência Urbana” e à educação ambiental transformadora e crítica defendida por Jacobi (2003). Adaptado de Jacobi (2003) e Oke (1987).

Figura 3: A árvore como instrumento pedagógico e resiliência urbana.



A arborização em contextos institucionais pode ser utilizada como uma solução de infraestrutura verde vital para o enfrentamento das mudanças climáticas em regiões semiáridas. Visto que, a vegetação urbana, ao mitigar em até 6,12 °C as ilhas de calor por meio da evapotranspiração e do sombreamento, extrapola a função estética para consolidar-se como ferramenta de saúde pública e equilíbrio microclimático.

Por isso, a importância da transição do paisagismo ornamental para o uso de flora nativa (como Juazeiro e Umbuzeiro), garantindo biodiversidade funcional e resiliência hídrica. Conclui-se que a arborização atua como um instrumento pedagógico central, onde o monitoramento participativo e o contato direto com a natureza transformam a sustentabilidade de um conceito abstrato em uma prática cotidiana e crítica, essencial para a formação cidadã no século XXI.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da arborização institucional revela que as áreas verdes são componentes estruturantes para a resiliência das cidades contemporâneas. O planejamento pautado em critérios científicos e na escolha de espécies nativas assegura não apenas o conforto térmico, mas a conservação da biodiversidade regional.

Ao unir a infraestrutura verde às práticas educativas, as instituições de ensino consolidam-se como modelos de cidadania ecológica, essenciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas globais e promover um futuro urbano mais equilibrado.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. A.; LOPES, W. G. Impermeabilização do solo e seus efeitos no clima urbano. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2016.
- COSTA, A. D. L.; SILVA, M. S.; PERES, L. P. Planejamento urbano e degradação ambiental. *Cadernos de Geociências*, 2010.
- DIAS, M. A. N. et al. Arborização escolar como instrumento de educação ambiental. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 2025.
- GARTLAND, L. Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas. London: Earthscan, 2010.
- GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. Brasília: MMA, 2004.
- JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa*, 2003.
- LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. *Ambiência*, 2005.
- OKE, T. R. Urban climates. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a variable in urban design and its cooling effect in the summer. *Energy and Buildings*, 2000.

CAPÍTULO X

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E A PRÁTICA DA HORTA ESCOLAR ENVIRONMENTAL EDUCATION AND THE PRACTICE OF THE SCHOOL GARDEN

DOI: 10.51859/amplla.asc6140-10

Stephane Caroline da Silva Costa ¹
Maria José de Holanda Leite ²
Rodrigo Mateus Lima Ribeiro ³
Amanda Alves Feitosa ⁴
Tatiane Maciel da Silva ⁵

¹Graduada em Tecnóloga em Agroecologia. Universidade Federal de Alagoas.

² Doutora em Ciências Florestais. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

³ Mestre em Gestão e Inovação em Saúde. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

⁴ Graduação em Gestão Ambiental e Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

⁵ Graduação em Pedagogia. Faculdade de Administração, Ciência, Educação e Letras (FACEL).

RESUMO

A Educação Ambiental contemporânea demanda a transição do discurso teórico para práticas pedagógicas que reconectem o educando ao ecossistema. Este estudo analisa a horta escolar como um “laboratório vivo”, fundamental para o desenvolvimento integral na Educação Infantil e o engajamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa e exploratória, fundamentada em autores clássicos como Paulo Freire e Leonardo Boff, além de produções científicas recentes (2017-2021). Os resultados indicam que, embora existam desafios de infraestrutura e carência de formação docente, a horta atua como ferramenta eficaz na alfabetização científica, na promoção da segurança alimentar e no fortalecimento de habilidades socioemocionais. Conclui-se que a horta escolar é uma estratégia de transformação social capaz de sedimentar a “cultura do cuidado” e a ética da sustentabilidade, desde que integrada ao currículo de forma interdisciplinar e apoiada por redes de colaboração comunitária.

Palavras-chave: Alfabetização Ecológica. Pedagogia Crítica. Segurança Alimentar.

ABSTRACT

Contemporary Environmental Education demands a transition from theoretical discourse to pedagogical practices that reconnect students with the ecosystem. This study analyzes the school garden as a “living laboratory,” essential for holistic development in Early Childhood Education and engagement with the Sustainable Development Goals (SDGs). The methodology consisted of a qualitative and exploratory bibliographic review, grounded in classic authors such as Paulo Freire and Leonardo Boff, as well as recent scientific productions (2017–2021). The results indicate that despite infrastructure challenges and a lack of teacher training, the garden acts as an effective tool for ecological literacy, the promotion of food security, and the strengthening of socio-emotional skills. It concludes that the school garden is a strategy for social transformation capable of establishing a “culture of care” and the ethics of sustainability, provided it is integrated into the curriculum in an interdisciplinary manner and supported by community collaboration networks.

Keywords: Ecological Literacy. Critical Pedagogy. Food Security.

1. INTRODUÇÃO

O ato de educar, em sua essência mais profunda, não se restringe à transmissão de códigos e números, mas reside na capacidade de despertar no sujeito a percepção de que ele é parte integrante e ativa de um ecossistema pulsante. No cenário contemporâneo, onde o distanciamento entre o ser humano e a natureza se acentua, a escola emerge como o espaço vital de reencontro. É nesse contexto que a Educação Ambiental deixa de ser um tema transversal abstrato para se tornar uma prática de liberdade e cuidado, materializada no contato direto com a terra.

A Política Nacional de Educação Ambiental (Brasil, 1999) já estabelece que a construção de valores e competências para a sustentabilidade é um direito coletivo. Entretanto, para que essa diretriz não se perca na teoria, autores como Rodrigues (2011) e Freire (2013) provocam a necessidade de uma pedagogia crítica e libertadora. Segundo Boff (2006), essa transformação passa pela “cultura do cuidado”, uma virtude que precisa ser semeada desde os primeiros anos de vida escolar.

O problema central que norteia este estudo reside na investigação de como a horta escolar pode atuar como um “laboratório vivo” (CUNHA, 2017), superando os desafios de infraestrutura e formação docente para consolidar uma consciência ecológica real.

O objetivo deste trabalho foi analisar a importância da horta no desenvolvimento integral da criança, observando como o cultivo compartilhado fomenta não apenas a segurança alimentar, mas também habilidades socioemocionais e o engajamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica de natureza qualitativa, apresentando objetivos exploratórios e descritivos. A fundamentação do trabalho estruturou-se a partir do levantamento de fontes secundárias, o que permitiu uma análise abrangente de livros, artigos científicos, documentos normativos vigentes e relatórios de conferências internacionais relevantes à temática ambiental.

O processo de coleta de dados foi iniciado mediante a seleção estratégica de descritores, utilizando-se termos-chave como “Educação Ambiental”, “Horta Escolar”, “Sustentabilidade” e “Educação Infantil”. As buscas concentraram-se em bases de dados de reconhecido rigor acadêmico, como o Google Acadêmico e o SciELO, além de consultas a

repositórios institucionais de universidades brasileiras, visando captar a produção intelectual nacional mais recente sobre o tema.

Quanto aos critérios de inclusão, optou-se por um recorte que contemplasse tanto obras clássicas de autores fundamentais, a exemplo de Paulo Freire e Leonardo Boff, quanto estudos contemporâneos publicados majoritariamente entre 2017 e 2021. Essa escolha permitiu confrontar as bases teóricas da educação libertadora com as dificuldades práticas e os benefícios cognitivos do manejo de hortas no ambiente escolar atual.

Por fim, os textos selecionados foram submetidos a uma análise de conteúdo criteriosa. O foco da discussão centrou-se no cruzamento de dados entre os desafios apontados pela literatura, como a escassez de recursos e limitações de espaço físico, e as soluções propostas por diferentes autores, destacando-se a importância das parcerias comunitárias e da formação continuada dos educadores para o sucesso dos projetos sustentáveis.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental é um processo contínuo e essencial para a formação de cidadãos conscientes, capazes de tomar decisões que promovam a sustentabilidade e a qualidade de vida. O conceito de Educação Ambiental, conforme a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei Nº 9.795/1999), é a construção de valores, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltados para a preservação do meio ambiente, de forma que o indivíduo e a coletividade possam atuar na conservação de bens comuns essenciais à qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Para a Conferência Intergovernamental de Tbilisi (1977), a Educação Ambiental envolve o desenvolvimento de habilidades, atitudes e valores voltados para a compreensão das inter-relações entre os seres humanos e seu ambiente, abrangendo os aspectos biofísicos, culturais e sociais, com o objetivo de promover a melhoria da qualidade de vida. Este entendimento reforça a necessidade de uma educação que vá além do conhecimento teórico, integrando a prática e a vivência no meio ambiente, transformando a maneira como as pessoas interagem com a natureza (UNESCO, 1977).

Diversos estudiosos têm enfatizado a importância de uma abordagem crítica da Educação Ambiental, que deve não apenas transmitir conhecimentos, mas também provocar

reflexões sobre a relação entre os seres humanos e o meio ambiente. Rodrigues (2011) defende a Educação Ambiental crítica, que busca transformar atitudes e comportamentos em relação ao ambiente, indo além das abordagens instrumentais. Freire (2013), por sua vez, enfatiza a necessidade de uma Educação Ambiental libertadora, que fomente a autonomia e a capacidade de questionamento nos educandos, promovendo uma educação que leve em conta as realidades e as necessidades do contexto em que os indivíduos estão inseridos.

Segundo Boff (2006), a virtude da autolimitação e a prática da justa medida são essenciais para promover uma cultura do cuidado, que deve ser ensinada nas escolas. Ele alerta para a necessidade urgente de mudança nos padrões de consumo e uso dos recursos naturais, defendendo uma educação que prepare as novas gerações para a prática de uma sustentabilidade mais profunda e responsável. Assim, a Educação Ambiental deve ser um instrumento de transformação social, visando a promoção da cidadania e o engajamento ativo na preservação do meio ambiente, por meio de ações concretas e comprometidas.

Em uma linha similar, Lopes e Santos (2019) destacam a importância de uma Educação Ambiental crítica e transformadora, que considere as questões socioambientais contemporâneas, como as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e as desigualdades sociais. A autora argumenta que a educação ambiental deve proporcionar uma formação integral, que leve em consideração o desenvolvimento social e econômico de forma equilibrada com a conservação ambiental.

Tuan (2012), ao explorar a percepção do ambiente, sugere que a Educação Ambiental deve incluir a percepção direta do meio ambiente, como uma forma de despertar a consciência ecológica. O contato direto com a natureza, por meio de vivências práticas, pode ser um ponto crucial para o desenvolvimento de uma verdadeira compreensão sobre as interconexões entre os seres humanos e os ecossistemas.

A educação, portanto, deve incentivar práticas que não apenas informem, mas que também motivem os alunos a agir e a refletir criticamente sobre suas ações. Como defendido por Sachs (2019), a educação deve ir além da conscientização passiva e envolver os estudantes em soluções práticas que combatam as problemáticas ambientais, como o desperdício de recursos naturais, a poluição e o consumo desenfreado.

Cruz et al. (2020) apontam a necessidade de incluir as tecnologias emergentes na Educação Ambiental, destacando o papel de ferramentas digitais e plataformas interativas para potencializar o engajamento dos estudantes. Elas podem facilitar a disseminação de

práticas sustentáveis e permitir que os educandos se conectem com questões ambientais de uma forma mais dinâmica e acessível.

Além disso, Moura (2021) propõe que a Educação Ambiental deve ser parte de um processo educativo contínuo e não esporádico, estimulando a formação de uma cultura de sustentabilidade desde os primeiros anos de escolaridade até a educação superior. O autor sugere a implementação de projetos interdisciplinares que integrem diferentes áreas do conhecimento, como ciências, geografia e artes, para um aprendizado mais holístico e contextualizado.

Portanto, a Educação Ambiental deve ser entendida como uma estratégia educativa de transformação, capaz de provocar mudanças nas atitudes e comportamentos, resultando em uma sociedade mais crítica, responsável e engajada na construção de um futuro sustentável.

3.2. HORTA ESCOLAR

A implantação de hortas escolares se apresenta como uma prática educativa altamente benéfica no contexto da Educação Infantil. Além de ser um espaço de aprendizagem interdisciplinar, a horta escolar favorece o desenvolvimento cognitivo, motor, social e emocional das crianças. Para Cunha (2017), a horta escolar funciona como um “laboratório Vivo” onde os alunos podem vivenciar conceitos que muitas vezes são discutidos de maneira abstrata nas aulas tradicionais, como a importância da biodiversidade, a sustentabilidade e o ciclo de vida das plantas.

Capra (2006) destaca o valor emocional e simbólico da horta escolar, apontando que o contato com a terra e com o processo de cultivo das plantas cria uma ligação afetiva com a natureza, o que é fundamental para o desenvolvimento de uma consciência ecológica. Essa experiência é transformadora, pois permite que as crianças compreendam de maneira prática e concreta as interações entre os seres vivos e o meio ambiente.

A horta escolar também desempenha um papel importante na educação alimentar e nutricional. Almeida e Costa (2018) afirmam que as hortas podem ser um instrumento pedagógico eficaz para sensibilizar as crianças sobre a origem dos alimentos e a importância de uma alimentação saudável e equilibrada. Ao cultivar seus próprios alimentos, as crianças se tornam mais conscientes sobre os benefícios dos alimentos frescos e naturais, promovendo a adoção de hábitos alimentares mais saudáveis.

Além disso, Pereira (2018) destaca o desenvolvimento das habilidades motoras finas e grossas das crianças ao manipularem sementes, terra e plantas. A interação direta com esses elementos naturais não só contribui para o desenvolvimento físico, como também para o fortalecimento das habilidades cognitivas, como a observação, o raciocínio lógico e a resolução de problemas. A prática de jardinagem nas escolas, portanto, tem um impacto positivo no desenvolvimento intelectual e na formação do pensamento científico nas crianças.

Rodrigues e Silva (2017) enfatizam que as atividades realizadas na horta escolar também favorecem a aprendizagem social e emocional, pois o cultivo de plantas é muitas vezes uma atividade colaborativa. O trabalho em equipe fortalece o senso de cooperação, a empatia e a divisão de responsabilidades, essenciais para o desenvolvimento de habilidades sociais. Esse trabalho coletivo também fomenta a construção de relações afetivas mais profundas com o ambiente e com os colegas.

A educação ambiental, como uma prática pedagógica, pode ser integrada às atividades da horta escolar. Barbosa (2020) destaca que o cultivo de hortas nas escolas contribui para a conscientização das crianças sobre temas como sustentabilidade, uso racional da água e reciclagem, além de promover a reflexão sobre os impactos das ações humanas no meio ambiente. Ao se engajar no cultivo e cuidado das plantas, os alunos desenvolvem uma compreensão mais profunda da necessidade de preservar os recursos naturais e de adotar práticas mais sustentáveis no cotidiano.

3.3. SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade, que surgiu na década de 1980, continua sendo uma abordagem fundamental para o desenvolvimento global. A definição clássica, apresentada no Relatório Brundtland (1987), estabelece que a sustentabilidade visa atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Esse conceito abrange três dimensões: econômica, social e ambiental. A sustentabilidade busca um equilíbrio entre o crescimento econômico, a equidade social e a conservação ambiental, promovendo o bem-estar humano e a preservação do meio ambiente de forma integrada.

Em relação à Educação Infantil, a prática de promover a sustentabilidade nas escolas, como a implementação de hortas escolares, proporciona aos alunos a oportunidade de se envolverem ativamente com os conceitos de preservação ambiental, consumo consciente e

valorização dos recursos naturais. Ao cultivar suas próprias plantas, as crianças têm uma vivência prática que as ensina sobre a importância da biodiversidade, da produção local e dos ciclos naturais. As hortas escolares se tornam, assim, um ambiente educativo que vai além da teoria, permitindo uma compreensão concreta e significativa dos desafios ambientais enfrentados pela sociedade.

A horta escolar, como prática pedagógica, é um excelente exemplo de como as instituições de ensino podem engajar os alunos na educação ambiental, abordando temas como a redução de desperdícios, o uso responsável da água, a importância da alimentação saudável e os impactos das ações humanas no meio ambiente. Além disso, esse tipo de atividade contribui para o desenvolvimento das habilidades cognitivas, motoras e sociais das crianças, conforme destaca Almeida e Costa (2018) e Pereira (2018).

A abordagem pedagógica baseada na sustentabilidade, integrada às práticas da horta escolar, também está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular os ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 15 (Vida Terrestre), que enfatizam a necessidade de promover a educação para a sustentabilidade desde as etapas iniciais da formação.

Boff (2006), em sua análise sobre a importância do cuidado com o meio ambiente, argumenta que para garantir um futuro comum para a humanidade, é necessário respeitar os limites naturais do planeta e adotar práticas sustentáveis. Nesse contexto, a educação ambiental, associada à prática da horta escolar, é uma ferramenta essencial para a formação de cidadãos conscientes, que não apenas compreendam as questões ambientais, mas também se envolvam ativamente na construção de soluções para os problemas socioambientais.

3.4. PRINCIPAIS DESAFIOS DAS HORTAS ESCOLARES E SUA IMPORTÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL

A implementação de hortas escolares enfrenta diversos desafios que podem impactar sua eficácia, sendo a infraestrutura um dos principais obstáculos. Muitas escolas, especialmente nas áreas urbanas, lidam com a falta de espaço adequado, o que limita o cultivo das hortas. Esse fator é apontado por Almeida e Costa (2018), que observam que a escassez de áreas adequadas para a instalação de hortas escolares compromete sua implementação em várias instituições de ensino. No entanto, diferentes estudos apontam que, quando esses

espaços são adequadamente adaptados, as hortas podem proporcionar um ambiente rico para o desenvolvimento de habilidades práticas e cognitivas. Cunha (2017) argumenta que a horta escolar funciona como um “laboratório vivo” permitindo que os alunos interajam com a natureza de maneira prática e experiencial. Quando comparados com outros tipos de ensino, as hortas escolares se destacam por proporcionar um aprendizado mais concreto, diferente da abstração das salas de aula tradicionais.

Além disso, a falta de recursos, tanto financeiros quanto materiais, constitui um desafio recorrente nas hortas escolares. A pesquisa de Pereira (2018) enfatiza que muitas escolas não têm acesso a ferramentas e sementes adequadas, o que limita a expansão e a manutenção das hortas. Em muitos casos, a falta de financiamento impede a aquisição de materiais essenciais, dificultando a continuidade do projeto ao longo do ano letivo. Em contraste, estudos como o de Rodrigues e Silva (2017) demonstram que as escolas que conseguem estabelecer parcerias com a comunidade local ou com programas de apoio governamentais conseguem superar esses desafios. Esse tipo de colaboração pode não apenas garantir os recursos necessários, mas também envolver a comunidade escolar no processo, criando um senso de pertencimento e responsabilidade.

Outro desafio importante diz respeito à formação e capacitação dos educadores. A escassez de profissionais com conhecimento específico sobre cultivo e práticas agrícolas sustentáveis é um obstáculo citado por Barbosa (2020), que destaca a necessidade de preparar os professores para lidar com as hortas escolares. A falta de formação específica pode dificultar a implementação eficaz das atividades pedagógicas e a integração dos conteúdos da horta ao currículo escolar. Contudo, alguns trabalhos demonstram que, quando os educadores são devidamente capacitados, a horta escolar pode ser incorporada de maneira eficiente em diversas disciplinas, como Ciências, Matemática e Geografia, contribuindo para a aprendizagem interdisciplinar. Comparando com os resultados encontrados por Capra (2006), que destaca o valor da conexão afetiva com a natureza, a formação de educadores é crucial para criar experiências significativas que incentivem a reflexão e a conscientização ambiental nos alunos.

A sustentabilidade e a manutenção das hortas escolares representam outro desafio crucial, pois muitas escolas enfrentam dificuldades em garantir a continuidade dos projetos, principalmente durante os períodos de férias. Almeida e Costa (2018) apontam que a falta de uma estratégia clara para a manutenção das hortas, com a continuidade do cultivo e cuidados

durante as ausências escolares, é um fator que compromete a eficácia dessas iniciativas. Para superar esse obstáculo, algumas escolas têm implementado programas de manutenção colaborativa, envolvendo a comunidade escolar, como sugerido por Rodrigues e Silva (2017). Esses modelos de gestão colaborativa têm se mostrado eficazes, garantindo que as hortas continuem funcionando durante períodos de inatividade escolar, o que fortalece a conscientização ambiental e o compromisso com a sustentabilidade entre os alunos e suas famílias.

Em relação ao impacto das hortas escolares na alimentação saudável, diversos estudos, como o de Barbosa (2020), ressaltam que o cultivo de alimentos nas escolas contribui diretamente para a educação nutricional. A horta escolar, ao proporcionar uma fonte de alimentos frescos e naturais, oferece uma oportunidade única para que as crianças compreendam a origem dos alimentos e adotem hábitos alimentares mais saudáveis. Em comparação com outras abordagens educacionais sobre nutrição, como aquelas baseadas apenas em informações teóricas sobre alimentação saudável, as hortas oferecem uma vivência prática, que permite que as crianças experimentem o ciclo completo de produção de alimentos, desde o plantio até a colheita e o consumo. Isso contribui não apenas para o aprendizado teórico, mas também para a transformação de hábitos alimentares, como apontado por Almeida e Costa (2018).

Por fim, o desenvolvimento das habilidades sociais e emocionais das crianças é outra área beneficiada pela horta escolar. A pesquisa de Pereira (2018) destaca que, ao trabalhar em equipe para cuidar das plantas, as crianças desenvolvem competências como cooperação, responsabilidade e empatia. Essas habilidades são fundamentais para a formação do caráter e para o fortalecimento das relações interpessoais, uma vez que as atividades coletivas, como o cultivo de hortas, exigem colaboração e o compartilhamento de responsabilidades. Estudos anteriores, como o de Rodrigues e Silva (2017), comprovam que o trabalho coletivo nas hortas escolares contribui para a construção de um ambiente de apoio mútuo e de compreensão das necessidades do outro, o que promove o desenvolvimento social e emocional das crianças.

Em resumo, embora a implementação de hortas escolares enfrente vários desafios, como infraestrutura inadequada, falta de recursos e a necessidade de capacitação dos educadores, os benefícios dessa prática são inegáveis. A horta escolar desempenha um papel vital no desenvolvimento sustentável, na educação ambiental e na promoção de hábitos alimentares saudáveis. Além disso, proporciona um espaço único para o desenvolvimento

social e emocional das crianças, preparando-as para os desafios ambientais e sociais do futuro. Ao superar os obstáculos mencionados, as hortas escolares podem ser uma ferramenta poderosa na formação de cidadãos conscientes e comprometidos com a sustentabilidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do referencial teórico permite concluir que a Educação Ambiental, quando dissociada da prática, corre o risco de tornar-se um discurso vazio. A horta escolar apresenta-se como a ferramenta mais eficaz para romper essa barreira, transformando o espaço educativo em um ambiente de vivência sensorial e científica. Ao manipular a terra, a criança não apenas aprende sobre botânica; ela desenvolve autonomia, paciência e uma compreensão sistêmica sobre a origem dos alimentos e a finitude dos recursos naturais.

Identificou-se que os principais obstáculos, a carência de infraestrutura e a limitada formação técnica dos educadores, não são intransponíveis. Conforme evidenciado, o sucesso desses projetos está diretamente ligado à criação de redes de apoio que envolvam a comunidade local e à integração da horta ao currículo de forma interdisciplinar, e não apenas como uma atividade isolada.

Em suma, promover a sustentabilidade por meio da horta é investir na formação de uma geração capaz de exercer a “justa medida” proposta por Boff. É uma estratégia de transformação social que une saúde, ética e respeito à biodiversidade, garantindo que o cuidado com o planeta comece, literalmente, no chão da escola.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.; COSTA, R. **Hortas escolares**: um instrumento pedagógico para a educação alimentar e nutricional. São Paulo: Editora Acadêmica, 2018.
- BARBOSA, M. A. **Educação ambiental e práticas sustentáveis no cotidiano escolar**. Rio de Janeiro: Enfoque, 2020.
- BOFF, L. **Saber cuidar**: ética do humano - compaixão pela terra. 13. ed. Petrópolis: Vozes, 2006.
- BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1999.
- CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 2006.

- CRUZ, J. et al. Tecnologias emergentes e o engajamento na educação ambiental. **Revista Digital de Pedagogia**, v. 12, n. 4, p. 45-60, 2020.
- CUNHA, L. Horta escolar como laboratório vivo: vivências e conceitos. **Cadernos de Educação Ambiental**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 112-125, 2017.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2013.
- LOPES, A.; SANTOS, M. Educação ambiental crítica frente aos desafios contemporâneos. **Revista de Estudos Socioambientais**, v. 8, n. 1, p. 22-38, 2019.
- MOURA, F. **Projetos interdisciplinares e a cultura da sustentabilidade**. Belo Horizonte: Autêntica, 2021.
- PEREIRA, T. **Desenvolvimento motor e cognitivo através da jardinagem escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2018.
- RODRIGUES, A. **Educação Ambiental Crítica: transformando atitudes**. São Paulo: Cortez, 2011.
- RODRIGUES, M.; SILVA, J. O trabalho coletivo e a horta escolar: habilidades sociais e emocionais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 15, n. 3, 2017.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2019.
- TUAN, Y. F. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente**. Londrina: Eduel, 2012.
- UNESCO. **Declaração da Conferência Intergovernamental de Tbilisi sobre Educação Ambiental**. Tbilisi: UNESCO/PNUMA, 1977.
- WCED - WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future** (Relatório Brundtland). Oxford: Oxford University Press, 1987.

CAPÍTULO XI

METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UMA ABORDAGEM DINÂMICA E LÚDICA PARA ESTUDANTE E FUTUROS EDUCADORES

ACTIVE METHODOLOGIES IN CHEMISTRY TEACHING: A DYNAMIC AND PLAYFUL APPROACH FOR STUDENTS AND FUTURE EDUCATORS

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-11

André Luís Nunes de Oliveira ¹

Débora Pereira Leite ¹

Karine Gabrielle Santos Silva ¹

Malysson Gabriel Santos Brito ¹

Vitor Henrique Coutinho Lima ¹

Wesley Eduardo Dantas Lima ¹

Marly Lopes de Oliveira ²

¹ Graduando do curso de Licenciatura Plena em Química. Universidade estadual Piauí– UESPI

² Professora Adjunta do Departamento de Química. Universidade estadual Piauí– UESPI

RESUMO

Na busca por estratégias pedagógicas inovadoras, este estudo investigou a eficácia de metodologias ativas no ensino de Química, utilizando jogos lúdicos como o "Caça ao Tesouro" e o "Bingo da Reciclagem". Desenvolvido por licenciandos da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), o projeto visou tornar o aprendizado mais dinâmico e contextualizado para alunos do 6º ano do Ensino Fundamental II, integrando recursos naturais do ambiente universitário. O "Caça ao Tesouro" promoveu a exploração prática de conceitos químicos por meio de enigmas e colaboração em equipe, enquanto o "Bingo da Reciclagem" abordou sustentabilidade e classificação de materiais recicláveis de forma interativa. Os resultados demonstraram que essas abordagens estimularam o engajamento discente, o desenvolvimento de habilidades socioemocionais e a assimilação de conteúdos complexos, além de preparar futuros docentes para metodologias criativas. Conclui-se que a adoção de jogos pedagógicos aliados a recursos ambientais é uma ferramenta promissora para despertar o interesse pela Química, alinhando teoria e prática em prol de uma educação significativa e sustentável.

Palavras-chave: Metodologias ativas. Ensino de Química. Jogos lúdicos. Sustentabilidade. Formação docente.

ABSTRACT

In the pursuit of innovative pedagogical strategies, this study investigated the effectiveness of active methodologies in teaching Chemistry, using playful games such as "Treasure Hunt" and "Recycling Bingo." Developed by undergraduate students at the State University of Piauí (UESPI), the project aimed to make learning more dynamic and contextualized for 6th-grade students, integrating natural resources from the university environment. The "Treasure Hunt" promoted hands-on exploration of chemical concepts through riddles and teamwork, while "Recycling Bingo" addressed sustainability and recyclable material classification in an interactive way. The results demonstrated that these approaches stimulated student engagement, the development of socio-emotional skills, and the assimilation of complex content, while also preparing future teachers for creative methodologies. It is concluded that the adoption of pedagogical games combined with environmental resources is a promising tool to spark interest in Chemistry, aligning theory and practice for meaningful and sustainable education.

Keywords: Active methodologies. Chemistry teaching. Educational games. Sustainability. Teacher training.



1. INTRODUÇÃO

Na busca contínua pela excelência educacional, a adoção de métodos pedagógicos dinâmicos tem se destacado como um elemento eficaz para potencializar a aprendizagem dos alunos. Distante dos métodos tradicionais de ensino, que muitas vezes se baseiam na transmissão unilateral de conhecimento, as abordagens pedagógicas dinâmicas se aplicam na interação, na participação ativa dos estudantes e na aplicação prática do aprendizado (Lima et al., 2024).

A diversidade de métodos pedagógicos dinâmicos é extensa e abrangente, consistindo em aplicações de dinâmicas de jogos em outros campos para a motivação e aprendizagem para os usuários de forma inovadora e lúdica. Essas abordagens não apenas tornam o processo de ensino mais interessante e envolvente, mas também estimulam o raciocínio, a colaboração, a atividade em equipe entre os alunos e o desenvolvimento de habilidades, como a resolução de problemas, a comunicação eficaz e o pensamento criativo (De Sousa Santos, 2024).

Por fim, a partir das novas metodologias, explora-se algumas das formas mais eficazes de adoção de métodos pedagógicos dinâmicos, destacando seus benefícios e desafios, e como essas abordagens têm o potencial de transformar significativamente a experiência de aprendizagem dos estudantes e até mesmo dos próprios educadores (Loureiro et al., 2020).

A justificativa para o presente estudo, é a importância de adotar métodos pedagógicos dinâmicos no ensino de Química, que têm demonstrado ser eficazes para tornar o ensino de Química mais dinâmico e envolvente, cativando a atenção dos alunos e estimulando o seu envolvimento ativo no processo de aprendizagem. Além disso, o estudo busca contribuir para o desenvolvimento de habilidades pedagógicas dos futuros professores, incentivando a criatividade, a adaptação e a experimentação de novas estratégias de ensino.

A relevância do presente estudo reside na sua contribuição para a melhoria do ensino de Química, promovendo uma abordagem educacional mais dinâmica e eficaz, e no desenvolvimento de habilidades pedagógicas dos futuros professores, alinhadas com os princípios da Química Verde e da sustentabilidade. Assim, como objetivo geral apresentou-se metodologias ativas com o foco na introdução de aulas de Química fora do ambiente tradicional de ensino utilizando jogos lúdicos para tornar o ensino mais dinâmico e envolvente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A ABORDAGEM DOS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE NO LIVRO DIDÁTICO DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO

A Química Verde consolidou-se como um campo científico e pedagógico voltado à sustentabilidade, surgindo nos anos 1990 como resposta ao movimento ambientalista e sendo definida pela IUPAC como a criação e aplicação de produtos e processos capazes de reduzir ou eliminar substâncias tóxicas. Os 12 princípios formulados por Anastas e Warner (1998) tornaram-se referência para orientar práticas químicas seguras e limpas, funcionando como marco conceitual para prevenir problemas socioambientais (Lenardão et al., 2003).

No âmbito educacional, essa perspectiva exige repensar currículos e materiais didáticos, conectando o cotidiano dos alunos às práticas de ensino e estimulando reflexões críticas sobre impactos ambientais (Garritz, 2010; Marques e Machado, 2018). Modelos de integração da Química Verde ao ensino, como os propostos por Eilks e Rauch (2012), dialogam diretamente com a Agenda 2030 da ONU (2015), que estabelece metas globais para consumo responsável e inovação tecnológica.

No Brasil, documentos como as Diretrizes Curriculares Nacionais (2013) e a BNCC (2018) reforçam a necessidade de inserir a sustentabilidade como eixo estruturante da educação básica, destacando que o ensino médio deve formar cidadãos críticos e participativos. Essa visão converge com reflexões de Boff (2006) e Morin (2009), que defendem uma educação capaz de superar a dissociação entre sociedade e natureza, consolidando a Química Verde como instrumento essencial para uma ciência voltada ao desenvolvimento sustentável.

2.2. A UTILIZAÇÃO DE JOGOS DIDÁTICOS NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental tem se consolidado como uma importante ferramenta para a formação de sujeitos conscientes quanto às questões socioambientais. No entanto, sua efetivação no ambiente escolar ainda enfrenta desafios, especialmente quando limitada a abordagens exclusivamente teóricas. Nesse contexto, a utilização de jogos didáticos surge como uma estratégia capaz de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico e significativo.

De acordo com Ribeiro e Pereira (2010), os jogos didáticos, quando aplicados à Educação Ambiental, favorecem a interação dos alunos com o meio em que estão inseridos, contribuindo para o desenvolvimento de uma consciência cidadã voltada à preservação ambiental. Além disso, essas práticas possibilitam maior envolvimento dos estudantes, ao integrar aspectos lúdicos ao conteúdo pedagógico.

A ludicidade, nesse sentido, desempenha papel fundamental na aprendizagem, uma vez que permite a experimentação, a troca de experiências e a construção coletiva do conhecimento. Conforme discutido pelos autores, o uso de jogos promove não apenas a compreensão de conceitos, mas também o desenvolvimento de habilidades sociais, como cooperação e respeito ao outro.

Ademais, a inserção de atividades lúdicas na Educação Ambiental contribui para a aproximação entre teoria e prática, especialmente quando associada ao uso de materiais reutilizáveis e à abordagem de temas como reciclagem e preservação. Dessa forma, os jogos didáticos configuram-se como uma alternativa pedagógica eficaz para promover uma aprendizagem significativa e a formação de indivíduos mais conscientes e participativos (RIBEIRO; PEREIRA, 2010).

3. METODOLOGIA

O presente estudo em questão apresenta as metodologias ativas implementadas na disciplina de Estágio Supervisionado II, elaboradas por estudantes do curso de Licenciatura Plena em Química da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), campus Poeta Torquato Neto. A proposta central foi introduzir uma aula com o uso de jogos lúdicos, aplicados fora do ambiente tradicional de ensino, visando o ensino de Química de maneira mais dinâmica e envolvente.

Essas metodologias, tais como o "Caça aos Tesouros Naturais" e o "Bingo da Reciclagem", foram selecionadas com o intuito de analisar o comportamento dos estudantes em formação para a docência e o ensino de Química. O objetivo é fomentar inovações e melhorias na educação básica, direcionadas aos alunos do 6º ano do Ensino Fundamental II, tornando o aprendizado mais lúdico e atrativo.

3.1. CAÇA AO TESOURO

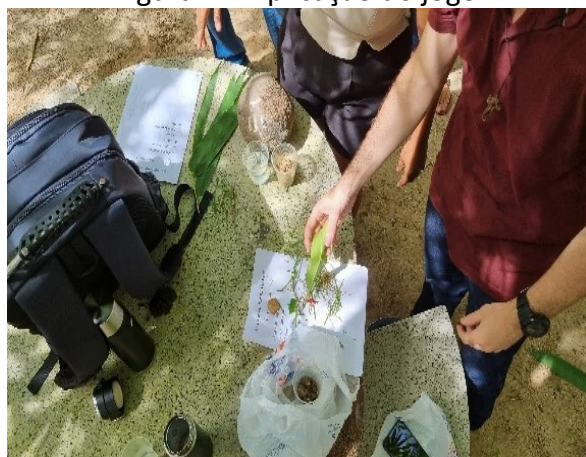
A brincadeira do "Caça ao Tesouro" é uma atividade lúdica e educativa que envolve a busca por objetos ou informações específicas, seguindo pistas ou instruções. É comumente

utilizada como uma ferramenta pedagógica para tornar o aprendizado mais dinâmico e envolvente. No contexto educacional, especialmente na disciplina de Química, esse jogo pode ser adaptado para explorar conceitos, teorias ou informações relacionadas à matéria de forma participativa. Adotou-se, o “Caça ao Tesouro” como proposta da aula interativa com os recursos naturais do planeta terra. Na qual os alunos em questão, tiveram que procurar recursos solicitados nos enigmas ou pedidos propostos pelo docente.

3.1.1. RECURSOS NATURAIS INTEGRADOS

Na aula expositiva do presente estudo, foi utilizado recursos naturais do campus poeta Torquato neto da Universidade Estadual do Piauí – UESPI, na qual os meios utilizados foram solicitados pelos alunos que ministravam a aula em pauta para o restante da turma. Desse modo, usou-se de forma ampla água, plantas, frutos e solo do próprio setor da graduação.

Figura 1 – Aplicação do jogo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.1.2. APLICAÇÃO DO JOGO DIDÁTICO

Os alunos foram divididos em equipes e cada uma delas recebia a primeira pista ou enigma e deveria resolvê-la para encontrar a próxima pista. Ao seguir as dicas e resolver os enigmas, as equipes avançavam na "caça ao tesouro" até alcançarem o objetivo final, que se apresentou nas seguintes formas: resolução de um problema, a descoberta de uma informação ou a conclusão de uma atividade relacionada à Química.

Figura 2 – Participantes do jogo.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O uso do "Caça ao Tesouro" como metodologia pedagógica dinâmica contribui significativamente para o ensino ao incentivar a participação ativa dos estudantes, tornando o aprendizado mais envolvente e interessante. Essa atividade lúdica ajuda no desenvolvimento de habilidades essenciais, como resolução de problemas, pensamento crítico, trabalho em equipe, comunicação eficaz e criatividade. Além disso, ao utilizar recursos naturais do ambiente, os alunos podem ver a aplicação prática dos conceitos teóricos, facilitando a compreensão e a retenção do conteúdo. A atividade em grupo promove a colaboração e a interação entre os alunos, melhorando suas habilidades sociais e de trabalho em equipe. A implementação do "Caça ao Tesouro" representa uma abordagem inovadora, quebrando a monotonia dos métodos tradicionais de ensino e trazendo novas formas de apresentar o conteúdo curricular. O uso de materiais do próprio ambiente dos alunos torna o aprendizado mais palpável e próximo da realidade dos estudantes, facilitando a conexão entre teoria e prática. Jogos educativos como esse têm o potencial de melhorar a retenção de informações, pois os alunos aprendem de forma mais ativa e divertida. Para os estudantes de Licenciatura em Química, essa metodologia oferece a oportunidade de experimentar e desenvolver novas estratégias de ensino, preparando-os melhor para suas futuras carreiras como educadores inovadores e adaptáveis. Em resumo, o "Caça ao Tesouro" contribui significativamente para um ensino mais eficaz, envolvente e alinhado com as necessidades contemporâneas dos alunos.

3.2. BINGO DA RECICLAGEM

O "bingo da reciclagem" é uma opção de jogo lúdico e educativo, desenvolvido com o intuito principal de auxiliar no processo educacional, transmitindo conhecimentos sobre

reciclagem de forma divertida e instrutiva. Além disso, ele transmite informações, conceitos, habilidades ou princípios específicos de uma maneira interativa e divertida sobre a reciclagem através de um jogo convencional.

Desse modo, essa atividade lúdica consistiu fazer com que o aluno aprenda mais sobre a reciclagem em geral, como regras, funcionamento, separação e designação dos objetos que se usa no dia a dia. Ademais é uma alternativa interessante para o ensino de química, para quem de sua capacidade de proporcionar uma experiência de aprendizado prática e envolvente, que permite aos jogadores experimentarem conceitos e aplicarem seu conhecimento de forma prática. Isso muitas vezes resulta em uma melhor retenção de informações e um aprendizado mais eficaz, pois os jogadores estão ativamente envolvidos no processo de aprendizagem, onde agrega não só para os discentes, como também para todo o corpo docente.

3.2.1. RECURSOS NATURAIS INTEGRADOS

Nesse encontro, foi utilizado recursos naturais do Campus Poeta Torquato Neto da Universidade Estadual do Piauí – UESPI, nos quais os materiais empregados foram: bingos feitos de resíduos reaproveitados pelos alunos que ministravam a aula.

O uso do "Bingo da Reciclagem" como metodologia pedagógica dinâmica oferece uma contribuição significativa para o ensino ao incentivar a participação ativa dos estudantes, tornando o aprendizado mais divertido e interessante. Essa atividade lúdica ajuda no desenvolvimento de habilidades essenciais, como pensamento crítico, trabalho em equipe, comunicação eficaz e consciência ambiental. Além disso, ao utilizar materiais reciclados, os alunos podem ver a aplicação prática dos conceitos teóricos de reciclagem, facilitando a compreensão e a retenção do conteúdo. A atividade em grupo promove a colaboração e a interação entre os alunos, melhorando suas habilidades sociais e de trabalho em equipe. A implementação do "Bingo da Reciclagem" representa uma abordagem inovadora, quebrando a monotonia dos métodos tradicionais de ensino e trazendo novas formas de apresentar o conteúdo curricular. O uso de materiais do próprio ambiente dos alunos torna o aprendizado mais palpável e próximo da realidade dos estudantes, facilitando a conexão entre teoria e prática. Além disso, essa atividade educa os alunos sobre a importância da sustentabilidade e do cuidado com o meio ambiente, alinhando o ensino de Química com os princípios da Química Verde. Jogos educativos como esse têm o potencial de melhorar a retenção de

informações, pois os alunos aprendem de forma mais ativa e envolvente. Para os estudantes de Licenciatura em Química, essa metodologia oferece a oportunidade de experimentar e desenvolver novas estratégias de ensino, preparando-os melhor para suas futuras carreiras como educadores inovadores e adaptáveis. Em resumo, o "Bingo da Reciclagem" contribui significativamente para um ensino mais eficaz, envolvente e alinhado com as necessidades dos alunos.

Figura 3 – Cartelas do bingo da reciclagem.



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.2.2. APLICAÇÃO DO JOGO DIDÁTICO

No que concerne a aplicação, cada jogador escolheu uma ou mais cartelas do bingo, desde que todos os jogadores tivessem a mesma quantidade de tabuleiros para jogar simultaneamente. Assim, quando a partida começou, as fichas foram sorteadas, uma por uma, aleatoriamente, e o jogador deveria verificar se elas estavam em sua cartela/tabuleiro.

Figura 4 – Cartelas do bingo da reciclagem.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Dessa forma, como o jogo convencional, ele terminou quando o número máximo de fichas das cartelas escolhidas foram sorteadas. Na qual as fichas sorteadas eram elementos

dentro do conteúdo de reciclagem de recursos naturais. Portanto, quem terminava a cartela mais rapidamente, falava “reciclagem”.

Figura 4 – Cartelas do bingo da reciclagem.



Fonte: Autoria própria, 2025.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação de metodologias ativas, como a “Caça ao Tesouro” e o “Bingo da Reciclagem”, revelou-se uma estratégia eficaz para tornar o ensino de Química mais dinâmico e envolvente. Através destes jogos, os professores estagiários puderam explorar novas formas de transmissão de conhecimentos, para futuramente repassar alunos do 6º ano do Ensino Fundamental II, onde terão a oportunidade de aprender de uma forma mais lúdica e atrativa.

No caso da “Caça ao Tesouro”, a integração dos recursos naturais do campus universitário proporcionou uma experiência prática e contextualizada aos alunos. A busca pelos recursos exigidos nos quebra-cabeças ou solicitações feitas pelo professor estimulou a observação, a investigação e o raciocínio dos discentes, ao mesmo tempo em que reforçou de forma tangível conceitos relacionados à Química.

Um estudo similar, conduzido por Santiago (2019), explorou o uso de tecnologia digital, jogos e materiais interativos para melhorar o ensino de Química Orgânica. O estudo de caso envolveu o uso do jogo "Caça ao Tesouro" para proporcionar uma experiência prática aos alunos, estimulando a observação, investigação e raciocínio enquanto reforçava conceitos de Química Orgânica. Concluiu-se que metodologias ativas, como esse jogo, podem tornar o ensino mais eficaz e envolvente, captando a atenção dos alunos e promovendo um aprendizado significativo.

Por outro lado, o “Bingo de Reciclagem” ofereceu uma abordagem inovadora para ensinar sobre a importância da reciclagem e os diferentes materiais que podem ser reciclados. Ao utilizar materiais reciclados na criação dos bingos, os alunos não só aprenderam sobre o

tema, mas também foram sensibilizados para as questões ambientais e para a importância da prática da reciclagem no dia a dia. Essas metodologias contribuíram não apenas para a aprendizagem dos alunos, mas também para o desenvolvimento de competências dos futuros professores, incentivando a criatividade, a adaptação e a experimentação de novas estratégias de ensino.

O trabalho de Santos et al. (2017), intitulado de "Trabalhando com o tema reciclagem de materiais na educação básica", descreveu uma atividade desenvolvida com alunos do 6º e 7º anos do Ensino Fundamental, utilizando jogos de cartas relacionados a resíduos sólidos e reciclagem. Embora o jogo não seja chamado especificamente de "Bingo da Reciclagem", o estudo demonstrou o potencial da utilização de jogos para ensinar sobre reciclagem e sustentabilidade no contexto do ensino de Química.

Assim, os estudos apresentados, sugerem que a utilização de jogos, como o "Bingo da Reciclagem" e o "Caça ao Tesouro" podem ser um método de ensino e aprendizagem eficaz para o ensino de Química e promoção da sustentabilidade no contexto do Ensino Fundamental. Ao utilizar jogos, os alunos podem desenvolver o pensamento crítico, a capacidade de resolução de problemas e uma compreensão mais profunda dos conceitos de Química, ao mesmo tempo que aprendem sobre a importância da reciclagem e da sustentabilidade.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos com a implementação das metodologias ativas de ensino, pode-se concluir que essas abordagens representam uma alternativa promissora para tornar o ensino de Química mais eficaz e significativo. O uso de jogos lúdicos como o "Caça ao Tesouro" e o "Bingo da Reciclagem" não apenas cativou a atenção dos alunos, mas também estimulou o seu envolvimento ativo no processo de aprendizagem.

Através dessas atividades, os estudantes em formação para a docência puderam experimentar diferentes formas de ensinar e aprender, desenvolvendo habilidades pedagógicas essenciais para sua futura atuação como professores de Química. Além disso, os alunos do Ensino Fundamental II se beneficiarão de uma abordagem educacional mais dinâmica e contextualizada, que os incentivará a explorar e compreender os conceitos químicos de maneira mais profunda.

Portanto, recomenda-se a continuidade e a expansão dessas práticas inovadoras no ensino de Química, visando não apenas melhorar o desempenho acadêmico dos alunos, mas também promover uma cultura de aprendizado mais participativa, criativa e inclusiva.

REFERÊNCIAS

- DE SOUZA SANTOS, S. F. O. Dinâmicas em sala de aula. In: (Org.). *Sujeitos e espaços educacionais*. São Paulo: Editora XYZ, 2024. v. 12, p. 217. (Coleção Educação Contemporânea).
- LOUREIRO, M. M. et al. O uso da metodologia ativa TBL como método de ensino na aula de monitoria. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, Brasília, v. 7, p. 42740-42747, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12559>. Acesso em: 18 abr. 2024.
- OLIVEIRA, R. E. G. et al. Jogos didáticos no ensino de química: desenvolvimento e aplicação em turmas da 1ª série do ensino médio em Cocal, Piauí. *Revista Ciências & Ideias*, v. 12, n. 3, p. 79-90, 2021.
- RIBEIRO, L. C.; PEREIRA, D. D. A utilização de jogos didáticos na educação ambiental. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS EXPERIMENTALES, 5., 2010; ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE BIOLOGIA (ENEBIO), 3., 2010; ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE BIOLOGIA (EREBIO), 4., 2010. *Anais...* [S.l.: s.n.], 2010. p. 3139-3147.
- SANTIAGO, T. B. *Estratégias metodológicas no ensino de química orgânica: aplicativos e jogos como propostas pedagógicas para a sala de aula*. 2019. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.
- SANTOS, V. dos. Trabalhando com o tema reciclagem de materiais na educação básica. In: SEMINÁRIO DE ENSINO DE QUÍMICA E ALIMENTOS, 7., 2017, Rio Grande. *Anais eletrônicos...* Rio Grande: FURG, 2017. p. 9-10.
- SILVA, A. M. O. et al. Jogos didáticos como ferramentas complementares no ensino de química. In: OLIVEIRA, M. L.; LIMA, W. E. D. (Org.). *Educação e linguagens: ensino, formação e discursos*. Teresina: Editora Ampla, 2024. v. 2, cap. 7, p. 45-60.
- SOUSA, A. C.; SILVA, C. E.; COSTA, T. T. A abordagem dos princípios da química verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 19, n. 3, p. 593-616, 2020.

CAPÍTULO XII

BIOMETRIA DE FRUTOS E SEMENTES DE *LIBIDIBIA FERREA* (MART. EX TUL.) L.P. QUEIROZ PROVENIENTES DE DIFERENTES MATRIZES

BIOMETRY OF FRUITS AND SEEDS OF *LIBIDIBIA FERREA* (MART. EX TUL.) L.P. QUEIROZ FROM DIFFERENT PARENT TREES

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-12

Gislaine Crislaine Gomes de Souza¹
Monalisa Alves Diniz da Silva²
Kevin Kilmer Siqueira de Lima Silva¹
Larissa Marcos de Almeida¹
Márcia Vitória dos Santos Souza¹
Náthaly Vitória Santos Almeida¹
Pedro Afonso Silva Novaes¹
Vitor Pereira Bandeira¹

¹ Graduandos do curso de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

² Professora Titular do Departamento de Ciências Agrárias, Área de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

RESUMO

O pau-ferro (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz) é uma espécie florestal nativa de grande relevância ecológica e silvicultural para o semiárido brasileiro, sendo amplamente empregada em programas de restauração de áreas degradadas. O presente trabalho avaliou a influência da planta matriz sobre a biometria de frutos e sementes de *L. ferrea*, coletados em três matrizes na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (PE), em agosto de 2025. Para cada matriz foram analisados 100 frutos e 200 sementes, mensurando-se comprimento, largura e espessura com paquímetro digital. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva. Os frutos apresentaram variação considerável entre as matrizes, com dimensões geralmente inferiores às descritas na literatura, possivelmente em razão do período de estiagem na época da coleta. A Matriz 2 destacou-se pela maior uniformidade biométrica tanto em frutos quanto em sementes, com menores coeficientes de variação e amplitudes reduzidas, sendo indicada como a mais promissora para fins de produção de mudas. A Matriz 1 apresentou perfil compatível com os padrões da espécie, enquanto a

Matriz 3 exibiu maior heterogeneidade e morfologia atípica, sugerindo forte plasticidade fenotípica. Conclui-se que a biometria de frutos e sementes constitui uma ferramenta eficiente na seleção de matrizes superiores, contribuindo para o manejo sustentável e a conservação de *L. ferrea* em ambientes semiáridos.

Palavras-chave: Leguminosa. Morfometria. Plasticidade fenotípica. Restauração ecológica. Variabilidade genética.

ABSTRACT

Pau-ferro (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz) is a native forest species of great ecological and silvicultural relevance to the Brazilian semiarid region, widely used in programs for the restoration of degraded areas. This study evaluated the influence of the mother plant on the biometrics of fruits and seeds of *L. ferrea*, collected from three mother trees at the Federal Rural University of Pernambuco – Academic Unit of Serra Talhada (PE), in August 2025. For each mother tree, 100 fruits and 200 seeds were analyzed, measuring length, width, and thickness using a digital caliper, and the data



were subjected to descriptive statistical analysis. The fruits showed considerable variation among the mother trees, with dimensions generally smaller than those reported in the literature, possibly due to drought conditions at the time of collection. Mother Tree 2 stood out for its greater biometric uniformity in both fruits and seeds, with lower coefficients of variation and reduced amplitude, being the most promising for seedling production, while Mother Tree 1 presented a profile consistent with the species standards and Mother Tree 3

exhibited greater heterogeneity and atypical morphology, suggesting strong phenotypic plasticity. It is concluded that fruit and seed biometrics constitute an efficient tool for selecting superior mother trees, contributing to the sustainable management and conservation of *L. ferrea* in semiarid environments.

Keywords: Legume. Morphometry. Phenotypic plasticity. Ecological restoration. Genetic variability

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz, popularmente conhecida por pau ferro, possui ocorrências registradas nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste, com maior predominância fitogeográfica nas regiões da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Oliveira; Fernando, 2024).

Verifica-se um aumento significativo das ações de restauração ecológica no Brasil, motivado por políticas públicas e projetos destinados à recuperação de áreas degradadas. Nesse cenário, a espécie *L. ferrea* se sobressai como uma opção promissora para iniciativas de restauração. Do ponto de vista ecológico, ajuda na recuperação de áreas degradadas, melhora as condições do solo e fornece abrigo e sombra para a fauna. A floração da espécie ocorre durante a estação seca e a frutificação durante a estação chuvosa (Silva; Loges, 2018). Devido à irregularidade climática e à larga dimensão das regiões Nordeste e Sudeste, cada uma possui meses mais específicos para os eventos. Em Pernambuco a floração ocorre nos meses de dezembro a maio e a frutificação no mês de agosto (Lorenzi, 1992; Carvalho, 2010).

Além disso, contém compostos bioativos que são de interesse farmacológico. Estudos apontam que extratos dessa espécie demonstram atividade antioxidante *in vitro* em células humanas, indicando seu potencial para pesquisas farmacológicas futuras (Azevedo *et al.*, 2020).

Seus frutos são do tipo legume indeiscente, achatado, de coloração castanho-escuro e com grande quantidade de sementes, sendo dispersos por barocoria (Carvalho, 2010; Lorenzi, 1992). Carvalho (2010) e Lorenzi (1992) recomendam que a colheita dos frutos seja feita diretamente da árvore ou coletando os frutos já caídos ao chão em área limpa; como o fruto é muito rígido, a extração das sementes pode ser manual com auxílio de martelo.

Em relação às características biométricas das suas sementes, segundo Carvalho (2010), as mesmas apresentam formatos orbiculares a oblongos, com dimensões variando de 7,1 a 10,41 mm de comprimento por 5,9 a 8,9 mm de largura, 3,3 a 5,0 mm de espessura com peso de mil de sementes de 160,20 g, seu tegumento é de coloração castanho-claro a escuro. Ainda segundo o referido autor, as sementes são ortodoxas, tolerando o armazenamento sob baixas temperaturas e baixa umidade relativa do ar e apresentam também dormência tegumentar, sendo necessários procedimentos de superação de dormência para fins de germinação.

A análise biométrica de sementes é um aspecto relevante, pois auxilia na distinção entre espécies do mesmo gênero e reflete a influência de fatores ambientais sobre suas características. Esse procedimento tem importância na avaliação da qualidade e do potencial germinativo das sementes, favorecendo a produção de mudas mais resistentes e aumentando as chances de sucesso em programas de restauração (Duarte *et al.*, 2021). Isso ocorre porque, se os recursos necessários para a formação das sementes forem escassos, a planta matriz produzirá sementes de tamanhos diferentes. A diferença no tamanho das sementes de uma mesma espécie pode estar relacionada ao ambiente em que a planta mãe se encontra (Silva *et al.*, 2017). Segundo Carvalho; Nakagawa (2000) e Marcos Filho (2005) as sementes maiores e mais densas possuem, comumente, além de embriões mais bem formados, um maior aporte de reservas, tornando-as potencialmente mais vigorosas, estabelecendo relação entre o vigor e a biometria, realçando a sua relevância.

Segundo Bezerra (2020), as sementes de diferentes matrizes da espécie *Erythrina velutina* Willd mostraram divergências genéticas, apresentando variação no comprimento, largura, espessura e peso; uma vez que as sementes sofreram influência dos fatores bióticos e abióticos do local onde as matrizes se desenvolveram. De acordo com Marcos Filho (2015) as alterações nas condições edafoclimáticas do ambiente implicam variações nas características físicas das sementes. Em estudos como os de Amaro *et al.* (2023) e Ferraz *et al.* (2023), foi verificado a influência do ano de coleta e da localidade geográfica sobre a biometria das sementes das espécies *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis e *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W. Jobson, respectivamente.

A análise biométrica se estabelece como um instrumento estratégico, uma vez que possibilita a caracterização da variabilidade física entre diversas matrizes e populações. No que diz respeito à produção de mudas de espécies nativas, esta abordagem é amplamente empregada em projetos de restauração ecológica, contribuindo para a recomposição de áreas

degradadas (Sartori *et al.*, 2023). Destaca-se que manter a variabilidade genética é essencial para garantir a adaptação, desenvolvimento e sobrevivência das populações ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2023).

Portanto, o presente trabalho visou verificar a influência da planta matriz sobre a biometria de frutos e sementes de *L. ferrea*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE COLETA

A coleta foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, município de Serra Talhada, localizado no sertão do Pajeú, na mesorregião de Pernambuco, situada no oeste do Estado. O município apresenta condições edafoclimáticas típicas do semiárido, caracterizadas por clima quente e seco, com precipitação irregular, elevada evapotranspiração, a vegetação é composta majoritariamente por espécies da Caatinga, adaptadas às condições da região.

Foram coletados 1083; 1346 e 1199 frutos das matrizes 1 (7°57'15.0"S, 38°17'44.6"W), 2 (7°57'14.9"S, 38°17'46.3"W) e 3 (7°57'19.3"S, 38°17'47.7"W), respectivamente. As matrizes foram selecionadas quanto a critérios como sanidade, vigor e representatividade na área de estudo, a fim de contemplar a variabilidade fenotípica da espécie.

A coleta manual dos frutos foi realizada no mês de agosto de 2025, diretamente das plantas matrizes e também daqueles recém-caídos ao solo. Após a coleta, os frutos foram acondicionados em sacos plásticos e transportados ao laboratório de Sementes, onde foi realizada uma breve seleção e contagem, priorizando frutos sadios. Para a biometria dos frutos, selecionou-se um total de 100 frutos por matriz. As variáveis mensuradas foram o comprimento, medido do ápice à base, a largura e a espessura, tomadas na região mediana, utilizando-se um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, seguindo os procedimentos descritos por Souza *et al.* (2021).

O beneficiamento dos frutos foi realizado manualmente, consistindo na abertura das vagens com auxílio de alicate e martelo para a extração das sementes, conforme Albuquerque *et al.* (2019) (Figura 1). Em seguida, as sementes foram armazenadas em sacos plásticos para posteriores análises.

Figura 1. Beneficiamento dos frutos de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz, provenientes de diferentes matrizes. Serra Talhada – PE, 2026



Fonte: Gislaine Souza

Para a biometria das sementes, foram selecionadas aleatoriamente 200 para cada matriz, determinando-se comprimento, largura e espessura, conforme a metodologia aplicada aos frutos. Os dados resultantes da biometria dos frutos e das sementes foram submetidos a uma análise estatística descritiva, compreendendo o cálculo da média aritmética, valor mínimo, valor máximo, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A biometria dos frutos apresentou variação considerável em comprimento, largura e espessura, refletindo tanto fatores genéticos quanto as condições ambientais do semiárido. Os frutos, do tipo legume lenhoso e indeiscentes, possuem dimensões que podem variar significativamente entre matrizes e populações (Câmara *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2017).

Estudos indicam que frutos maiores e mais pesados tendem a conter sementes com maior aporte de reservas, o que pode influenciar positivamente a germinação e o vigor inicial das plântulas (Câmara *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2017). Além disso, a variabilidade biométrica dos frutos em espécies florestais da Caatinga é frequentemente associada à disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento, sendo comum observar maior heterogeneidade em anos ou locais com déficit hídrico (Gonçalves *et al.*, 2022). Dessa forma, a análise biométrica dos frutos constitui uma ferramenta importante na seleção de matrizes e na padronização de lotes para fins silviculturais.

Os frutos provenientes da Matriz 1 (Tabela 1) apresentaram comprimento médio de 17,43 mm (\pm 3,81 mm), variando de 1,87 a 26,40 mm, com amplitude de 24,53 mm,

evidenciando elevada heterogeneidade nessa característica. Esses valores são significativamente inferiores aos reportados por Silva *et al.* (2017) para frutos da mesma espécie em Vitória da Conquista–BA, os quais registraram médias de $80,0 \pm 14,0$ mm para comprimento, $26,2 \pm 2,6$ mm para largura e $11,2 \pm 2,2$ mm para espessura. Tal discrepância pode estar associada ao estágio de maturação no momento da coleta, realizada em agosto, período de estiagem acentuada em Serra Talhada - PE, podendo os frutos apresentar ressecamento e contração do pericarpo ou, ainda, corresponder a estádios iniciais de desenvolvimento.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis biométricas dos frutos de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. (matriz 1 – $7^{\circ}57'15.0''S$, $38^{\circ}17'44.6''W$) Serra Talhada – PE, 2026.

| Frutos | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 1 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 26,40 | 17,42 | 1,87 | 24,53 | 3,81 | 21,87 |
| Largura | 15,79 | 11,49 | 6,24 | 9,55 | 1,61 | 14,06 |
| Espessura | 9,21 | 6,12 | 3,76 | 5,45 | 1,07 | 17,63 |

Fonte: Autoria própria

A largura média foi de 11,49 mm, com coeficiente de variação de 14,06%, enquanto a espessura média foi de 6,12 mm, com CV de 17,63%, ambos classificados como de variabilidade moderada segundo Pimentel Gomes (2000). Esse nível de variação é esperado para espécies florestais do semiárido, nas quais a biometria dos frutos reflete a plasticidade fenotípica frente às condições ambientais.

Estudos com outras leguminosas da Caatinga reforçam esse comportamento. Amorim *et al.* (2016), ao avaliarem *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz, observaram frutos com dimensões expressivas e variáveis, enquanto Crisóstomo *et al.* (2024), em *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, verificaram ampla variação nas dimensões dos frutos em comparação às sementes. Esse padrão, no qual os frutos apresentam maior variabilidade biométrica do que as sementes, é recorrente em Fabaceae do semiárido e contribui para explicar a elevada amplitude observada para os frutos coletados na Matriz 1.

A amplitude de 24,53 mm para o comprimento, associada ao valor mínimo de 1,87 mm, indica a presença de frutos imaturos ou com possível abortamento, os quais podem comprometer a qualidade do lote. Nesse sentido, a triagem prévia do material, com

eliminação de unidades de menor tamanho ou com anomalias, é recomendada antes do beneficiamento, conforme destacado por Roveri Neto e Paula (2017) para espécies florestais nativas.

A Matriz 2 (Tabela 2) destacou-se como a mais homogênea entre as três avaliadas, proporcionando frutos com comprimento médio de 19,82 mm, desvio padrão de 3,05 mm e a menor amplitude para essa variável (12,65 mm), com valores entre 13,32 mm e 25,97 mm. Esse intervalo mais restrito indica maior uniformidade no desenvolvimento dos frutos, possivelmente associada a condições mais estáveis de disponibilidade hídrica e nutricional ao longo da copa durante a frutificação. Embora inferior ao valor médio de $80,0 \pm 14,0$ mm reportado por Silva *et al.* (2017) para *L. ferrea* no semiárido baiano, os frutos da Matriz 2 foram os que mais se aproximaram do padrão descrito na literatura.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis biométricas dos frutos de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. (matriz 2 – 7°57'14.9"S,38°17'46.3"W) Serra Talhada – PE, 2026.

| Frutos | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 2 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 25,97 | 19,82 | 13,32 | 12,65 | 3,05 | 15,39 |
| Largura | 16,61 | 11,54 | 8,75 | 7,86 | 1,76 | 15,30 |
| Espessura | 8,66 | 6,12 | 3,41 | 5,25 | 1,03 | 17,69 |

Fonte: Autoria própria

A largura média foi de 11,54 mm, com coeficiente de variação de 15,30%, enquanto a espessura média foi de 6,12 mm, com CV de 17,69%, ambos classificados como de variabilidade moderada segundo Pimentel Gomes (2000). Esses resultados indicam consistência dimensional, ainda que com variação esperada para espécies florestais do semiárido.

Estudos com outras leguminosas reforçam a influência da matriz na variabilidade biométrica. Roveri Neto e Paula (2017) ao avaliarem *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, observaram ampla variação entre matrizes para características de frutos, destacando a importância da seleção de indivíduos mais uniformes. De forma semelhante, Oliveira *et al.* (2014), em *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz, verificaram diferenças significativas na qualidade fisiológica de sementes entre matrizes de uma mesma área, padrão compatível com o observado no presente estudo.

O coeficiente de variação para comprimento (15,39%) foi o menor entre as matrizes, e, quando associado à menor amplitude e à ausência de valores extremos, reforça a maior uniformidade dos frutos da matriz 2. Esse conjunto de atributos indica melhor potencial para obtenção de sementes mais padronizadas. Nesse contexto, a biometria de frutos e sementes se consolida como ferramenta essencial para a seleção de matrizes e o manejo sustentável de espécies florestais da Caatinga, contribuindo tanto para a produção de mudas quanto para estratégias de conservação.

Observa-se na Tabela 3 que a matriz 3 proporcionou frutos com um perfil biométrico mais atípico e heterogêneo entre as avaliadas, com características que a diferenciam tanto das demais matrizes quanto dos padrões descritos para *L. ferrea*. O comprimento médio de 18,60 mm foi intermediário, porém associado à maior amplitude (19,79 mm) e ao maior valor máximo registrado (28,86 mm), evidenciando elevada irregularidade no desenvolvimento dos frutos. Esse comportamento sugere forte influência de fatores ambientais ou heterogeneidade fisiológica ao longo da copa.

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis biométricas dos frutos de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. (matriz 3 – 7°57'19.3"S, 38°17'47.7"W) Serra Talhada – PE, 2026.

| Frutos | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 3 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 28,86 | 18,60 | 9,07 | 19,79 | 4,06 | 21,83 |
| Largura | 13,59 | 7,20 | 2,91 | 10,68 | 1,90 | 26,42 |
| Espessura | 14,37 | 9,75 | 5,53 | 8,84 | 2,17 | 22,31 |

Fonte: Autoria própria

Estudos com leguminosas arbóreas do semiárido indicam ampla plasticidade biométrica. Nóbrega *et al.* (2022) ao avaliarem frutos de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, observaram dimensões muito superiores, porém consistentes com a literatura, reforçando que frutos de Fabaceae podem variar expressivamente entre espécies, populações e condições de desenvolvimento. Esse padrão de plasticidade é compatível com o observado para os frutos coletados na Matriz 3.

A largura média de 7,20 mm foi a menor entre os frutos das matrizes e bastante inferior ao valor de referência de $26,2 \pm 2,6$ mm reportado por Silva *et al.* (2017). Em contraste, a espessura média de 9,75 mm foi a mais elevada, indicando uma morfologia menos achatada

e relativamente mais espessa, divergindo do padrão típico descrito para a espécie. Variações nessa relação entre largura e espessura podem refletir diferenças no número de sementes por fruto ou no desenvolvimento do pericarpo, conforme discutido em estudos com espécies afins, como *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (Amorim *et al.*, 2016).

A variabilidade interna foi a mais elevada do estudo, com coeficientes de variação de 21,83% para comprimento, 26,42% para largura e 22,31% para espessura, todos classificados como altos segundo Pimentel Gomes (2000). Esse nível de heterogeneidade pode estar associado à plasticidade fenotípica e à variabilidade microambiental durante a frutificação, conforme observado por Guedes *et al.* (2012) em *Erythrina velutina* Willd. no semiárido.

Do ponto de vista aplicado, a elevada variabilidade compromete a uniformidade do lote de sementes, sendo recomendada a classificação prévia dos frutos antes do beneficiamento. Por outro lado, a singularidade morfológica dessa matriz a torna relevante para estudos de variabilidade intraespecífica e adaptação, contribuindo para o entendimento da diversidade de populações no bioma Caatinga.

A caracterização biométrica das sementes é uma etapa fundamental para compreender a variabilidade morfológica e a qualidade fisiológica de espécies florestais, subsidiando práticas de seleção e produção de mudas.

As sementes provenientes da Matriz 1 (Tabela 4) de *L. ferrea* apresentaram comprimento médio de 8,68 mm, com desvio padrão de 1,15 mm, variando de 1,00 mm a 10,85 mm, resultando em amplitude de 9,85 mm. De acordo com a classificação proposta por Biruel, Paula e Aguiar (2010), que estratificaram sementes da espécie em três classes — pequenas (7,8 mm), médias (8,9 mm) e grandes (10,0 mm) —, as sementes desta matriz enquadram-se na classe média, situando-se próximas ao limite superior dessa faixa. Valores semelhantes de comprimento foram reportados por Câmara *et al.* (2008), ao estudarem aspectos biométricos de sementes da mesma espécie no semiárido nordestino, reforçando que o intervalo observado na Matriz 1 é compatível com o padrão da espécie em condições semiáridas.

Tabela 4. Estatísticas descritivas das variáveis biométricas de sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. (matriz 1 – 7°57'15.0"S, 38°17'44.6"W) Queiroz. Serra Talhada – PE, 2026.

| Sementes | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 1 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 10,85 | 8,68 | 1,00 | 9,85 | 1,15 | 13,29 |
| Largura | 8,90 | 7,13 | 4,09 | 4,81 | 0,62 | 8,76 |
| Espessura | 7,65 | 4,13 | 2,60 | 5,05 | 0,60 | 15,19 |

Fonte: Autoria própria

A largura média foi de 7,13 mm, valor praticamente idêntico à referência de $7,1 \pm 0,8$ mm registrada por Silva *et al.* (2017), indicando que essa matriz produz sementes com largura dentro do padrão populacional esperado. A espessura média de 4,13 mm também se mostrou compatível com o valor de $4,0 \pm 0,5$ mm descrito pelos mesmos autores e com os dados de Coelho *et al.* (2010), que observaram intervalos semelhantes em sementes da espécie no Nordeste. Conforme discutido por Gusmão, Vieira e Fonseca Júnior (2006), a relativa estabilidade de largura e espessura entre populações em diferentes regiões semiáridas sugere conservação de caracteres morfológicos mesmo sob distintas condições edafoclimáticas.

Em relação à variabilidade interna, a Matriz 1 apresentou coeficientes de variação de 13,3% para comprimento, 8,8% para largura e 15,2% para espessura, valores classificados como baixos a moderados segundo Pimentel Gomes (2000). A amplitude de 9,85 mm no comprimento, entretanto, merece atenção: o valor mínimo registrado de 1,00 mm sugere a presença de sementes rudimentares ou malformadas no lote, o que pode comprometer a uniformidade do estande caso não haja triagem prévia. Esse procedimento é recomendado em estudos com espécies florestais da Caatinga, como discutido por Gonçalves *et al.* (2022), especialmente em lotes com elevada amplitude biométrica.

De modo geral, a Matriz 1 apresentou perfil biométrico consistente com a literatura, com médias adequadas e variabilidade moderada, sendo uma fonte promissora para coleta de sementes, desde que se realize a eliminação de unidades atípicas para garantir maior uniformidade na germinação e no estabelecimento das plântulas.

A Matriz 2 (Tabela 5) destacou-se novamente como a mais promissora entre as três avaliadas, apresentando o maior comprimento médio (9,77 mm), aliado ao menor coeficiente de variação para essa característica (5,3%) e à menor amplitude (2,77 mm), evidenciando elevada uniformidade dimensional. De acordo com a classificação de Biruel, Paula e Aguiar

(2010), esse valor posiciona as sementes na transição entre as classes média e grande, condição favorável ao desempenho germinativo e à padronização dos lotes.

Tabela 5. Estatística descritiva das variáveis biométricas de sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. (matriz 2 – 7°57'14.9"S,38°17'46.3"W) Serra Talhada – PE, 2026.

| Sementes | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 2 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 11,00 | 9,77 | 8,23 | 2,77 | 0,51 | 5,31 |
| Largura | 9,80 | 7,88 | 5,60 | 4,20 | 0,59 | 8,35 |
| Espessura | 5,20 | 3,95 | 1,28 | 3,92 | 0,60 | 15,16 |

Fonte: A autoria própria

A largura média de 7,08 mm encontra-se em plena concordância com a referência de $7,1 \pm 0,8$ mm reportada por Silva *et al.* (2017), bem como com os dados de Câmara *et al.* (2008), indicando consistência com o padrão morfológico descrito para a espécie, em diferentes regiões do semiárido brasileiro. A espessura média de 3,95 mm, embora ligeiramente inferior ao valor de referência de 4,0 mm, permanece dentro do intervalo esperado para a espécie, conforme Coelho *et al.* (2010).

Os coeficientes de variação observados foram baixos para comprimento (5,3%) e baixos a moderados para largura (8,4%) e espessura (15,2%), conforme a classificação de Pimentel Gomes (2000), reforçando a homogeneidade do lote. Essa uniformidade possui elevada relevância prática, uma vez que está diretamente associada à maior previsibilidade germinativa e à obtenção de mudas mais padronizadas, conforme discutido por Gonçalves *et al.* (2022) para espécies florestais da Caatinga. A ausência de valores extremos atípicos corrobora essa estabilidade.

Adicionalmente, estudos como o de Lucena *et al.* (2017), ao avaliarem sementes de *Ziziphus joazeiro* Mart. no semiárido paraibano, demonstram que matrizes com menores coeficientes de variação tendem a originar lotes fisiologicamente mais uniformes, o que reforça, por analogia, o desempenho observado para as sementes oriundas da Matriz 2. Assim, a combinação de maior tamanho médio, baixa variabilidade e concordância com a literatura, associada à adaptação às condições edafoclimáticas do semiárido caracterizadas por elevadas temperaturas, baixa pluviosidade e irregularidade hídrica, evidencia o bom

desempenho biométrico da matriz e sua consistência em relação ao padrão descrito para a espécie.

Quanto a matriz 3 (Tabela 6), a mesma proporcionou sementes com um perfil biométrico mais distinto e heterogêneo entre as avaliadas. O comprimento médio de 9,30 mm posiciona suas sementes na faixa de transição entre as classes média e grande, conforme Biruel, Paula e Aguiar (2010), incluindo o maior valor máximo individual observado no estudo (12,00 mm). Em contraste, a largura média de 5,40 mm foi inferior à das demais matrizes e ao valor de referência de $7,1 \pm 0,8$ mm descrito por Silva *et al.* (2017), indicando sementes com morfologia mais estreita. Esse padrão pode estar associado a limitações no desenvolvimento lateral durante o enchimento dos frutos, possivelmente influenciadas por restrições hídricas. De fato, Câmara *et al.* (2008) observaram que, em sementes de pau ferro a largura tende a ser mais sensível às variações de disponibilidade hídrica do que o comprimento, o que pode explicar os valores reduzidos, considerando a coleta realizada em período de estiagem no semiárido.

Tabela 6. Estatística descritiva das variáveis biométricas de sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. (matriz 3 – 7°57'19.3"S, 38°17'47.7"W) Serra Talhada – PE, 2026.

| Sementes | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|--------------|-----------|---------------|-------|
| Matriz 3 | | | | | | |
| Variável (mm) | Valor máximo | Média | Valor mínimo | Amplitude | Desvio padrão | CV(%) |
| Comprimento | 12,00 | 9,30 | 5,00 | 7,00 | 1,11 | 11,95 |
| Largura | 9,00 | 5,40 | 2,00 | 7,00 | 1,39 | 25,92 |
| Espessura | 9,00 | 4,97 | 2,00 | 7,00 | 1,76 | 35,56 |

Fonte: Autoria própria

Por outro lado, a espessura média de 4,97 mm foi a mais elevada entre as matrizes e superior ao valor de referência reportado na literatura. Esse resultado é agronomicamente relevante, uma vez que a espessura está associada ao maior volume de reservas nos cotilédones, podendo favorecer o desempenho germinativo e o estabelecimento inicial das plântulas, conforme discutido por Biruel, Paula e Aguiar (2010). Resultados semelhantes foram relatados por Gusmão, Vieira e Fonseca Júnior (2006) em leguminosas do Cerrado, nas quais sementes mais espessas apresentaram melhor desempenho sob condições de estresse.

A principal limitação da Matriz 3 como fornecedora de sementes para a produção de mudas, reside na elevada variabilidade interna. Os coeficientes de variação foram de 11,95%

para comprimento, 25,92% para largura e 35,56% para espessura, sendo este último considerado alto segundo Pimentel Gomes (2000). De acordo com Gonçalves *et al.* (2022), esse nível de heterogeneidade em espécies da Caatinga pode refletir tanto plasticidade fenotípica quanto distribuição desigual de recursos durante a frutificação. Do ponto de vista prático, essa variabilidade pode comprometer a uniformidade dos lotes, sendo recomendada a classificação prévia das sementes por tamanho, conforme sugerido por Lucena *et al.* (2017), visando maior padronização na germinação e na possível produção de mudas.

Apesar dessa limitação, a expressiva variabilidade e o padrão morfológico diferenciado tornam essa matriz relevante sob a ótica da conservação e da variabilidade genética, podendo contribuir para estudos de diversidade intraespecífica e caracterização de populações em ambientes semiáridos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise biométrica das sementes e frutos de *Libidibia férrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. evidenciou diferenças consistentes entre as matrizes avaliadas, refletindo tanto a variabilidade genética quanto a influência das condições edafoclimáticas do semiárido sobre o desenvolvimento reprodutivo da espécie. De modo geral, as sementes e frutos coletados nas Matrizes 1 e 2 apresentaram maior conformidade com os padrões descritos na literatura, com dimensões próximas às referências e variabilidade de baixa a moderada, indicando maior estabilidade morfológica.

Em especial, a Matriz 2 destacou-se por proporcionar frutos e sementes com a maior uniformidade biométrica, expressa por menores coeficientes de variação e amplitudes reduzidas, atributos desejáveis para a padronização de lotes de sementes e maior previsibilidade no desempenho germinativo.

Por outro lado, a Matriz 3 resultou em frutos e sementes com a maior heterogeneidade e um padrão morfológico distinto, com combinações atípicas entre largura e espessura e elevados coeficientes de variação, sugerindo forte plasticidade fenotípica ou influência de microvariações ambientais durante a formação dos frutos e sementes. Embora essa variabilidade represente uma limitação do ponto de vista operacional, especialmente para a produção de mudas uniformes, ela assume relevância sob a ótica da conservação genética, ao indicar potencial diversidade intraespecífica na população estudada.

Adicionalmente, os resultados obtidos para os frutos, de modo geral inferiores aos descritos na literatura, reforçam a influência do período de coleta — marcado por estiagem intensa — sobre as dimensões biométricas, especialmente para características mais sensíveis, como o comprimento. Esse comportamento confirma a importância de considerar o contexto ambiental na interpretação de dados biométricos em espécies da Caatinga.

Assim, a biometria de sementes e frutos mostrou-se uma ferramenta eficiente para a caracterização de matrizes, subsidiando a seleção de materiais mais adequados para fins silviculturais e contribuindo para estratégias de manejo, conservação e uso sustentável da espécie em ambientes semiáridos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, K. A. D.; SANTOS, G. J. da S.; MACHADO, M. A. B. L. Influência do tamanho das sementes na germinação de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth. **Revista Ouricuri**, v. 8, n. 2, p. 049–057, 2019.
- AMORIM, I. L.; DAVIDE, A. C.; CHAVES, M. M. F.; FERREIRA, R. A. Morfologia de frutos e sementes e germinação de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 1–10, 2016.
- AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; FIGUEIREDO, J. C.; SOARES, F. L. H.; NERY, M. C. Influência do ano de coleta sobre a biometria de sementes de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis. In: **Estudos e tendências atuais em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, p. 45–58, 2023.
- AZEVEDO, L. F. C.; FERREIRA, T. A. A.; MELO, K. M.; DIAS, C. L. P.; BASTOS, C. E. M. C.; SANTOS, S. F.; SANTOS, A. S.; NAGAMACHI, C. Y.; PIECZARKA, J. C. Aqueous ethanol extract of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) L.P. Queiroz (juca) exhibits antioxidant and migration-inhibiting activity in human gastric adenocarcinoma (ACP02) cells. **PLoS ONE**, v. 15, n. 1, p. e0226979, 2020.
- BEZERRA, A. C.; ZUZA, J.; OLIVEIRA, L. C.; LIMA, S. S.; CAVALCANTE, L. F.; SOUSA, A. S. B. Biometria de sementes de *Erythrina velutina* Willd. proveniente de diferentes matrizes do Semiárido paraibano. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- BIRUEL, R. P.; PAULA, R. C.; AGUIAR, I. B. Germinação de sementes de *Caesalpinia leiostachya* (Benth.) Ducke (pau-ferro) classificadas pelo tamanho e pela forma. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 197–204, 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.

- CÂMARA, F. A. A.; TORRES, S. B.; GUIMARÃES, I. P.; OLIVEIRA, M. K. T.; OLIVEIRA, F. A. Biometria de frutos e sementes e superação de dormência de jucá *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae – Caesalpinoideae). **Caatinga**, v. 21, n. 4, p. 172–178, 2008.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.
- CARVALHO, P. E. R. **Coleção: espécies arbóreas brasileiras**. v. 4. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2010.
- COELHO, M. F. B.; MAIA, S. S. S.; OLIVEIRA, A. K.; DIÓGENES, F. E. P. Superação da dormência tegumentar em sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 74–79, 2010.
- CRISÓSTOMO, N. M. S.; SANTOS, L. G. V.; MELO, L. D. F. A.; MELO JUNIOR, J. L. A.; SOARES, L. B. F.; PAES, R. A.; OLIVEIRA, V. B.; PINTO, M. S. C.; OLIVEIRA, M. D.; LIMA, D. D. Aspectos biométricos de frutos e sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong provenientes do semiárido paraibano. **Acta Biológica Catarinense**, v. 11, n. 1, p. 62–68, 2024.
- DUARTE, D. F.; SILVA, M. A. D.; FERRAZ, G. X. L.; BATISTA, E. V.; SANTOS, R. C. Biometry and germinative potential in seeds of *Peltophorum dubium*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, 2021.
- FERRAZ, G. X. L.; SILVA, M. A. D.; BATISTA, E. V.; FERRAZ, E. X. L. Influência do ano e da localidade geográfica de coleta sobre a biometria de sementes de *Pityrocarpa moniliformis* Benth. In: **Estudos e tendências atuais em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, p. 59–69, 2023.
- GONÇALVES, L. G. V.; ANDRADE, F. R.; CARVALHO, M. L. M.; NERY, M. C.; OLIVEIRA, L. M.; SANTOS, H. O. Variabilidade genética de populações naturais de espécies da Caatinga por caracteres biométricos. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 4, p. 1–12, 2022.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; BRAGA JUNIOR, J. M.; VIANA, J. S.; COLARES, P. N. Q. Biometria de sementes de mulungu de diferentes plantas matrizes do semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 56–65, 2012.
- GUSMÃO, E.; VIEIRA, F. A.; FONSECA JÚNIOR, E. M. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss.) em uma área de Cerrado. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 84–91, 2006.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.
- LUCENA, E. O.; LÚCIO, A. M. F.; BAKKE, I. A.; PIMENTA, M. A. C.; RAMOS, T. M. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) de diferentes matrizes do semiárido paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 275–280, 2017.

- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.
- NÓBREGA, J. S.; SILVA, F. A.; FERREIRA, V. S. Aspectos biométricos e peso de frutos de tamboril no submédio vale do São Francisco. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 10234–10245, 2022.
- OLIVEIRA, D. M. T.; ALVES, E. U.; ANDRADE NETO, R. C.; SILVA, R. G.; SILVA, T. G. F.; OLIVEIRA, L. C. Qualidade fisiológica de sementes de diferentes árvores matrizes de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 370–378, 2014.
- OLIVEIRA, F. G.; FERNANDO, E. M. P. *Libidibia* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.ibri.gov.br/FB109828>. Acesso em: 24 mar. 2026.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: FEALQ, 2000. 477 p.
- ROVERI NETO, A.; PAULA, R. C. Variabilidade entre árvores matrizes de *Ceiba speciosa* St. Hil para características de frutos e sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 318–327, 2017.
- SARTORI, I. A.; SILVA, M. A. D.; FERRAZ, G. X. L.; OLIVEIRA, L. C.; BATISTA, E. V. Produção de mudas de espécies florestais e frutíferas nativas para preservação ambiental do bioma da Mata Atlântica. **Extensão Tecnológica: Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense**, v. 12, n. 23, 2023.
- SILVA, D. Y. B. de O.; SANTOS, R. C.; ALVES, E. U.; ANDRADE, L. A.; ARAÚJO, L. H. A. Variabilidade genética e estratégias de conservação *ex situ* para a espécie neotropical *Parkia platycephala*. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, 2023.
- SILVA, L. M.; SILVA, M. A. D.; ALVES, R. M.; SILVA, E. F.; SILVA, J. N.; ALVES, R. J. R.; MOURA, D. P.; DVOSKIN, D. M. Análise biométrica de frutos e tratamentos pré-germinativos para superação de dormência em sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e544101119898, 2021.
- SILVA, R. M.; CARDOSO, A. D.; DUTRA, F. V.; MORAIS, O. M. Aspectos biométricos de frutos e sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. provenientes do semiárido baiano. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 85–91, 2017.
- SILVA, S. S. L.; LOGES, V. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília: MMA, 2018.

CAPÍTULO XIII

SEMENTES SENNA SPECTABILIS VAR. EXCELSA SUBMETIDAS À DIFERENTES PROCEDIMENTOS DE SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA E POSTERIORMENTE A UM CICLO DE HIDRATAÇÃO - DESIDRATAÇÃO

SENN A SPECTABILIS VAR. EXCELSA SEEDS SUBJECTED TO DIFFERENT DORMANCY-BREAKING PROCEDURES AND SUBSEQUENTLY TO A HYDRATION-DEHYDRATION CYCLE

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-13

Gislaine Crislaine Gomes de Souza ¹
Monalisa Alves Diniz da Silva ²
Náthaly Vitoria Santos Almeida ³

¹ Graduanda do curso de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

² Professora Titular do Departamento de Ciências Agrárias, Área de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

³ Graduanda do curso de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de métodos de superação de dormência em sementes de *Senna spectabilis* var. *excelsa*, associada ao ciclo de hidratação (14 horas) e desidratação (5 horas), visando à rápida germinação para restauração ecológica na Caatinga. As sementes foram submetidas aos tratamentos: testemunha, escarificação mecânica com lixa nº 180, imersão em água por 12 horas, escarificação seguida de imersão em água, imersão em soda cáustica a 20% por 60 minutos e imersão em ácido sulfúrico por 60 minutos. Posteriormente, foram divididas em duas condições: com e sem ciclo de hidratação e desidratação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 × 2, com quatro repetições de 25 sementes. Avaliaram-se teor de água, porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação, com análise de variância e comparação de médias pelo teste de Scott-Knott (5%). Os métodos influenciaram significativamente as variáveis, destacando-se a escarificação mecânica e o ácido sulfúrico como mais eficientes. A testemunha não apresentou germinação, evidenciando dormência tegumentar.

O ciclo promoveu respostas variáveis conforme o tratamento. Associado à escarificação e à imersão em água, reduziu o tempo médio e aumentou a velocidade de germinação, enquanto o ácido sulfúrico manteve elevada eficiência independentemente do ciclo.

Palavras-chave: germinação. dormência. condicionamento fisiológico. sementes florestais. Caatinga.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the influence of dormancy-breaking methods on seeds of *Senna spectabilis* var. *excelsa*, associated with a hydration cycle (14 hours) and dehydration (5 hours), aiming at rapid germination for ecological restoration in the Caatinga. The seeds were subjected to the following treatments: control, mechanical scarification with sandpaper No. 180, immersion in water for 12 hours, scarification followed by immersion in water, immersion in 20% sodium hydroxide for 60 minutes, and immersion in sulfuric acid for 60 minutes. Subsequently, they were divided into two conditions: with and without hydration and dehydration cycles, in a completely



randomized design, in a 6×2 factorial scheme, with four replications of 25 seeds. Water content, germination percentage, germination speed index, and mean germination time were evaluated, with analysis of variance and comparison of means using the Scott-Knott test (5%). The methods significantly influenced the variables, with mechanical scarification and sulfuric acid standing out as the most efficient. The control showed no germination, evidencing seed coat dormancy. The cycle

promoted variable responses depending on the treatment. When associated with scarification and water immersion, it reduced the mean germination time and increased germination speed, whereas sulfuric acid maintained high efficiency regardless of the cycle.

Keywords: germination. dormancy. physiological conditioning. forest seeds. Caatinga.

1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas destinadas à restauração ecológica em ambientes semiáridos representa um desafio significativo para a silvicultura, devido à escassez hídrica, baixa fertilidade dos solos e elevada variabilidade climática. No bioma Caatinga, essas condições limitam diretamente os processos de germinação, emergência e estabelecimento de espécies nativas, tornando essencial o uso de técnicas que favoreçam o desempenho inicial das plantas (COSTA; SANTOS; SILVA, 2025).

Espécies leguminosas arbóreas, como *Senna spectabilis* var. *Excelsa*, destacam-se pelo potencial ecológico, especialmente pela fixação biológica de nitrogênio e contribuição na recuperação de áreas degradadas. Entretanto, suas sementes apresentam dormência tegumentar, que restringe a absorção de água e compromete a germinação sob condições naturais, dificultando a produção de mudas em viveiros (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

Nesse contexto, a superação de dormência e o condicionamento fisiológico de sementes são etapas fundamentais no manejo de espécies florestais. Técnicas como escarificação e seed priming têm sido amplamente utilizadas para acelerar e uniformizar a germinação, além de melhorar o vigor das plântulas (RAJ; RAJ, 2025). Entre essas abordagens, os ciclos de hidratação e desidratação destacam-se por promoverem ajustes fisiológicos que podem aumentar a tolerância ao déficit hídrico nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Estudos indicam que essa técnica pode influenciar parâmetros germinativos e características relacionadas à sobrevivência das plântulas sob déficit hídrico, como observado em espécies nativas de ambientes semiáridos (MEIADO *et al.*, 2012). Dessa forma, o condicionamento de sementes configura-se como estratégia promissora para otimizar a produção de mudas e contribuir para o sucesso de programas de restauração ecológica em regiões com limitação hídrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Sementes da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada/PE. As sementes de *S. spectabilis* foram provenientes do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental – NEMA/UNIVASF, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR. Foi doado um lote de sementes, provenientes de três plantas, coletado no ano de 2023, no município de Cachoeira dos Índios – PB sob as coordenadas Latitude -6,964661998, Longitude -38,65858215.

As sementes foram submetidas aos seguintes métodos de superação de dormência: T1 – Testemunha; T2 – Escarificação com lixa de madeira nº 180 na região oposta a protrusão da raiz primária; T3 – Escarificação + Imersão em Água por 12 horas; T4 – Imersão em Água por 12 horas; T5 – imersão e solução de soda cáustica à 20% por 60 min.; T6 – Imersão em Ácido Sulfúrico à 98% por 60 min.. Após a aplicação dos métodos de superação de dormência, metade das sementes foi submetida a um ciclo de hidratação (14h) e desidratação (5h) (CHD) e a outra não (sem ciclo de hidratação e desidratação/SHD). O processo de hidratação foi conduzido dispondo-se as sementes sobre duas folhas de papel para germinação, do tipo germitest, utilizando-se uma terceira folha para cobertura, seguida da formação de rolos, os quais foram acondicionados em sacos plásticos e posteriormente colocados em incubadora do tipo BOD, mantida à temperatura de 25 °C. Ressalta-se que as folhas de papel foram previamente umedecidas com água destilada, em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. A etapa de secagem foi realizada em incubadora BOD regulada à temperatura de 35 °C. Após serem submetidas aos métodos de superação de dormência e ao ciclo de hidratação-desidratação as sementes foram submetidas as seguintes avaliações:

A. Teor de água: a umidade das sementes foi determinada pelo método de estufa a 105 °C ± 3 °C, durante 24 horas, conforme as prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2025).

B. Teste de germinação: As sementes foram dispostas sobre duas folhas de papel mata borrão, previamente umedecidas com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco, acondicionadas em caixas de plástico transparentes (11 x 11 x 3,5 cm) e mantidas em sala climatizada. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes para

cada tratamento (método de superação de dormência × ciclo de hidratação desidratação). O critério de germinação adotado consistiu da protrusão da raiz primária, sendo os resultados expressos em porcentagem.

C. Índice de velocidade de germinação (IVG): realizado conjuntamente com o teste de germinação, conforme Maguire (1962), com contagens diárias da protrusão da raiz primária. Sendo calculado por meio da fórmula: $IVE = \sum (ni / ti)$, onde NI = é o número de sementes que germinaram a cada dia de contagem; TI = é o número de dias (tempo) após a semeadura em que a contagem foi realizada.

D. Tempo médio de germinação (TMG): foi avaliado em conjunto com o teste de germinação. O resultado, expresso em dias está sendo calculado por meio da fórmula: $TM = (S1 \times D1) + \dots + (Sn \times Dn) / Stotal$. Em que: Tm = tempo médio levado para emissão da raiz primária (dias); S1, ..., Sn = número de sementes com a protrusão da raiz primária no primeiro, segundo, ..., e último dia; D1, ..., Dn = número de dias levados para emissão da raiz primária; e Stotal = total de sementes germinadas para cada tratamento (LABOURIAU, 1983).

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento, em esquema fatorial 6×2 , sendo seis métodos de superação de dormência e dois ciclos de hidratação – desidratação (presença e ausência). Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, utilizando o software R. As médias foram comparadas pelo teste de Scott – Knott a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a análise de variância (Tabela 1) houve interação entre os métodos de superação de dormência e o ciclo de hidratação desidratação (presença e ausência) para quase todas as variáveis, com exceção do teor de água, evidenciando que o efeito dos métodos de superação de dormência depende da presença ou ausência do ciclo de hidratação-desidratação. Em termos práticos, isso significa que a eficiência de cada método variou conforme a aplicação do ciclo de hidratação desidratação, reforçando a necessidade de avaliar os fatores de forma conjunta.

Ainda, a análise de variância (Tabela 1) indicou que houve efeito significativo dos métodos de superação de dormência para todas as variáveis avaliadas, com exceção do teor de água. Já para o fator ciclo de hidratação-desidratação, observou-se efeito significativo para

teor de água, germinação e tempo médio de germinação, exceto para o índice de velocidade de germinação.

Tabela 1. Quadro de análise de variância para as variáveis teor de água (%), porcentagem de germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Senna spectabilis* var. Excelsa submetidas a cinco diferentes métodos de superação de dormência (MSD) e posterior ciclo de hidratação (14 h)-desidratação (5 h). Serra Talhada – PE, 2026.

| CV | GL | Teor de água (%) | G (%) | IVG | TMG (dias) |
|-----------|----|----------------------|----------|---------------------|------------|
| MSD | 5 | 5,021 ^{ns} | 783,03** | 92,447** | 66,648** |
| CHD | 1 | 4,362** | 320,00** | 0,074 ^{ns} | 12,546** |
| MSD X CHD | 5 | 11,038 ^{ns} | 601,00** | 11,599* | 4,587* |
| Resíduo | 36 | 36,154 | 426,00 | 28,573 | 11,551 |
| Total | 47 | 56,576 | 79,650 | 132,693 | 95,331 |
| CV (%) | | 9,88 | 5,97 | 37,49 | 22,06 |

Teste F: ** Significativo a 1% de probabilidade, * Significativo a 5% de probabilidade, NS = não significativo, CV = coeficiente de variação. **Legenda:** MSD = métodos de superação de dormência; CHD = ciclo de hidratação-desidratação; G (%) = porcentagem de germinação; IVG = índice de velocidade de germinação; TMG = tempo médio de germinação.

Fonte: Autoria própria

Os coeficientes de variação (CV) foram considerados baixos para teor de água (9,88%) e germinação (5,97%), indicando boa precisão experimental para essas variáveis. Para índice de velocidade de germinação (37,49%) e tempo médio de germinação (22,06%), os valores foram mais elevados, o que é comum em variáveis relacionadas à velocidade e tempo de germinação, por apresentarem maior variabilidade biológica (POPINIGIS, 1985; MARCOS-FILHO, 2015).

Para teor de água (Tabela 2) verificou-se que sementes de *S. spectabilis* submetidas ao ciclo de hidratação-desidratação (CHD) apresentaram teor de água significativamente superior em relação àquelas que não foram submetidas ao ciclo.

Esse incremento no conteúdo hídrico nas sementes submetidas ao ciclo de hidratação e desidratação evidencia a eficiência da técnica em promover a embebição, etapa inicial e indispensável ao processo germinativo. A absorção de água desencadeia uma série de eventos metabólicos, como a reativação enzimática, a reorganização das membranas celulares e o início da mobilização de reservas, processos que são determinantes para a retomada do crescimento do embrião (BEWLEY *et al.*, 2013; MARCOS-FILHO, 2015). Nesse sentido, mesmo

pequenas variações no teor de água podem resultar em respostas fisiológicas distintas, refletindo diretamente no desempenho germinativo.

Sob uma perspectiva ecológica, esse comportamento é particularmente relevante para espécies adaptadas à Caatinga, ambiente caracterizado por precipitações irregulares e longos períodos de estiagem (MEIADO *et al.*, 2016). Nessas condições, a capacidade de absorver e reter água de forma eficiente pode representar uma estratégia adaptativa importante, permitindo que as sementes respondam rapidamente a “pulsos” hídricos favoráveis. Estudos têm demonstrado que ciclos de hidratação e desidratação podem atuar como um mecanismo de “memória fisiológica”, preparando as sementes para germinar sob condições ambientais mais adequadas (MEIADO *et al.*, 2016).

Tabela 2. Teor de água (%) das sementes de *Senna spectabilis* var. *excelsa* submetidas a um ciclo de hidratação (14h)-desidratação (5h) (presença e ausência). Serra Talhada – PE, 2026

| Ciclo | Teor de água (%) |
|-------|------------------|
| CHD | 10,45 a |
| SHD | 9,84 b |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. **Legenda:** CHD = Com hidratação-desidratação; SHD = Sem hidratação-desidratação.

Fonte: Autoria própria.

Em espécies nativas do semiárido brasileiro, tem sido observado que variações no teor de água das sementes estão diretamente relacionadas à dinâmica de absorção hídrica e à capacidade de ativação metabólica em condições ambientais adversas (LIMA; MEIADO, 2017). Nesse contexto, a hidratação controlada pode favorecer a reorganização celular e otimizar o uso de reservas, refletindo em respostas germinativas mais eficientes quando as condições se tornam favoráveis (LIMA; MEIADO, 2017).

A germinação das sementes de *S. spectabilis* (Tabela 3) foi influenciada pelos métodos de superação de dormência (MSD), evidenciando a presença de dormência tegumentar, característica comum em espécies da família Fabaceae. Esse comportamento é confirmado pela ausência total de germinação na testemunha (T1), tanto na presença quanto na ausência do ciclo de hidratação-desidratação, indicando que o tegumento das sementes é impermeável à água e impede a embebição, processo essencial para o início da germinação. Esse tipo de

dormência é amplamente relatado em espécies florestais da Caatinga, onde atua como mecanismo adaptativo às condições ambientais adversas, especialmente à irregularidade hídrica (BASKIN & BASKIN, 2014; GARCIA *et al.*, 2014)

Os métodos que envolveram a escarificação manual do lado oposto à protrusão da raiz primária (T2), a escarificação manual do lado oposto à protrusão da raiz primária seguida de imersão em água por 12 horas, a imersão em água por 12 horas (T3) e a imersão em ácido sulfúrico por 60 min.(T6), apresentaram os maiores percentuais de germinação, alcançando valores iguais a 100% quando associados ao ciclo de hidratação e desidratação, e entre 80% e 100% na ausência desse ciclo. Esses resultados indicam elevada eficiência desses métodos na superação da dormência, pois promovem alterações estruturais no tegumento, permitindo a entrada de água e a retomada do metabolismo embrionário. Resultados semelhantes são descritos para diversas espécies da Caatinga, nas quais a escarificação, tanto mecânica quanto química, proporciona aumentos expressivos na germinação (ALVES *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2020).

Tabela 3. Porcentagem de germinação (G) das sementes de *Senna spectabilis* var. Excelsa, submetidas a diferentes métodos de superação de dormência (MSD) e posterior ciclo de hidratação (14h) – desidratação (5h) (CHD). Serra Talhada – PE, 2026.

| MSD | CHD | SHD |
|-----|--------|--------|
| | G (%) | |
| T1 | 0 dA | 0 eA |
| T2 | 100 aA | 80 bB |
| T3 | 100 aA | 100 aA |
| T4 | 35 bA | 30 cB |
| T5 | 26 cA | 20 dB |
| T6 | 100 aA | 100 aA |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Legenda: MSD = Métodos de superação de dormência ; CHD = Ciclo de hidratação-desidratação; SHD = Sem ciclo de hidratação-desidratação; T1 – Testemunha ; T2 – Escarificação com lixa de madeira nº 180; T3 – Escarificação com lixa de madeira nº 180+ Imersão em Água por 12 horas; T4 – Imersão em Água por 12 horas; T5 – Soda Cáustica 20% por 60 min; T6 – Ácido Sulfúrico por 60 min.

Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, os métodos com menor eficiência, como a imersão em água por 12 horas (T4) e a imersão em solução de soda cáustica à 20% por 60 min. (T5), resultaram em baixos percentuais de germinação, variando aproximadamente entre 20 e 35%. Esses valores

indicam que tais métodos não foram suficientes para promover a ruptura efetiva do tegumento, mantendo a restrição à absorção de água. Esse comportamento também é amplamente relatado na literatura, especialmente para espécies da Caatinga com dormência tegumentar, nas quais métodos como a simples embebição em água à temperatura ambiente, não são suficientes para promover a ruptura do tegumento e, conseqüentemente, não resultam em aumentos significativos na germinação.

Estudos com espécies como *Caesalpinia férrea* (Mart. ex Tul.) demonstram que sementes não escarificadas ou submetidas apenas à embebição apresentam baixa germinação devido à impermeabilidade do tegumento, sendo necessária a aplicação de métodos mais agressivos, como escarificação mecânica ou química, para superar essa barreira (ALVES *et al.*, 2007; COELHO *et al.*, 2022). Além disso, pesquisas com espécies florestais indicam que métodos sem escarificação mantêm a restrição à absorção de água, limitando o processo germinativo mesmo sob condições favoráveis (NASCIMENTO *et al.*, 2003).

Observa-se que quando as sementes foram submetidas ao ciclo de hidratação e desidratação (Tabela 2), não houve diferença significativa entre os métodos escarificação manual do lado oposto à protrusão da raiz primária (T2), escarificação manual do lado oposto à protrusão da raiz primária seguida de imersão em água por 12 horas (T3) e imersão em ácido sulfúrico por 60 min (T6). Por sua vez, a não submissão das sementes ao ciclo de hidratação e desidratação após os métodos de superação de dormência, proporcionou uma germinação inferior das sementes que foram apenas escarificadas manualmente (T2), em relação aquelas que após a escarificação manual foram imersas em água por 12 horas ou as que foram imersas em ácido sulfúrico por 60 min.(T6). Esse resultado indica que a hidratação prévia a semeadura ativa metabolicamente as sementes, com reflexos na maior capacidade de germinação. Estudos indicam que ciclos de hidratação e desidratação podem melhorar o desempenho germinativo e o vigor de sementes, tornando-as mais tolerantes a estresses ambientais (PELLIZZARO *et al.*, 2010).

De modo geral, os resultados demonstram que *S. spectabilis* apresenta dormência tegumentar acentuada e que sua superação depende da aplicação de métodos que promovam a ruptura física ou química do tegumento. Entre os métodos avaliados, a escarificação mecânica, a imersão em água por 12 horas e o uso de ácido sulfúrico por 60 min foram os mais eficientes, podendo ser recomendados para a produção de mudas da espécie. Adicionalmente, o ciclo de hidratação e desidratação mostrou-se um fator complementar

importante, contribuindo para o aumento da germinação em determinadas condições, o que reforça sua relevância em estudos com espécies adaptadas a ambientes semiáridos.

A Tabela 4 apresenta o índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *S. spectabilis* submetidas a diferentes métodos de superação de dormência (MSD), na presença e ausência do ciclo de hidratação e desidratação (CHD). De modo geral, observa-se que houve variação significativa no IVG em função da interação entre os métodos de superação de dormência e a presença ou ausência do ciclo de hidratação e desidratação, evidenciando que a eficiência dos métodos de superação de dormência depende da posterior submissão ou não das sementes ao ciclo de hidratação e desidratação.

Tabela 4. Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Senna spectabilis* var. Excelsa, submetidas a diferentes métodos de superação de dormência (MSD) e posterior ciclo de hidratação (14h) e desidratação (5h) (CHD). Serra Talhada – PE, 2026.

| MSD | CHD | SHD |
|-----|---------|---------|
| | IVG | |
| T1 | 0 cA | 0 cA |
| T2 | 1,87 bA | 1,21 cA |
| T3 | 2,57 bA | 3,12 bA |
| T4 | 4,04 aA | 2,27 bB |
| T5 | 1,54 bB | 2,95 bA |
| T6 | 4,46 aA | 4,46 aA |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. **Legenda:** MSD = Métodos de superação de dormência; CHD = Ciclo de hidratação-desidratação; SHD = Sem ciclo de hidratação-desidratação; T1 – Testemunha; T2 – Escarificação com lixa de madeira nº 180 ; T3 – Escarificação com lixa nº 180 + Imersão em Água por 12 horas; T4 – Imersão em Água por 12 horas; T5 – Soda Cáustica 20% por 60 min; T6 – Ácido Sulfúrico por 60 min.

Fonte: Autoria própria.

Quando as sementes foram submetidas ao ciclo de hidratação e desidratação após os métodos de superação de dormência, verificou-se que os tratamentos de imersão em água por 12 horas (T4) e em ácido sulfúrico por 60 minutos (T6) apresentaram elevados índices de velocidade de germinação. Entretanto, enquanto o tratamento ácido sulfúrico por 60 minutos (T6) manteve altos valores independentemente da aplicação do ciclo, as sementes submetidas ao tratamento de imersão em água por 12 horas (T4) apresentaram incremento significativo apenas na presença do CHD, evidenciando a influência desse fator sobre sua eficiência.

Praticamente, não houve influência do ciclo de hidratação e desidratação sobre o índice de velocidade de germinação, a não ser para as sementes que foram previamente imersas em água por 12 horas, pois para estas a posterior submissão ao ciclo de hidratação e desidratação acelerou o processo germinativo. A comparação entre as condições com e sem ciclo de hidratação e desidratação (CHD) evidencia que o efeito desse procedimento variou conforme o método de superação de dormência. No tratamento T4 (imersão em água por 12 horas), observou-se incremento significativo no índice de velocidade de germinação na presença do CHD, indicando efeito positivo do ciclo. Em contrapartida, no tratamento T5 (imersão em solução de soda cáustica a 20% por 60 minutos), o IVG foi superior na ausência do ciclo, evidenciando efeito negativo do CHD. Para os tratamentos T1 (testemunha), T2 (escarificação com lixa nº 180), T3 (escarificação com lixa nº 180 seguida de imersão em água por 12 horas) e T6 (imersão em ácido sulfúrico por 60 minutos), não foram observadas diferenças significativas entre as condições com e sem CHD, demonstrando que a resposta ao ciclo depende do tipo de tratamento pré-germinativo adotado.

Os resultados corroboram estudos com espécies da Caatinga que apresentam dormência tegumentar, nos quais métodos como escarificação mecânica ou química e imersão em água têm se mostrado eficientes para aumentar a velocidade de germinação. Segundo Marcos Filho (2015), o índice de velocidade de germinação é um importante indicador do vigor das sementes, estando diretamente relacionado à rapidez e uniformidade da germinação. Em espécies nativas do semiárido, como *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. e *Caesalpinia pyramidalis* Tul., métodos de escarificação e embebição também resultaram em aumentos significativos no índice de velocidade de germinação, especialmente quando associados a condições que favorecem a absorção de água (SILVA *et al.*, 2014; ALVES *et al.*, 2015).

Os dados apresentados na Tabela 5 mostram diferenças no tempo médio de germinação das sementes de *S. spectabilis* em função dos métodos de superação de dormência e da aplicação do ciclo de hidratação e desidratação. Como o tempo médio de germinação está inversamente relacionado à velocidade de germinação, menores valores, com exceção da ausência de germinação, indicam maior rapidez no processo germinativo, sendo, portanto, desejáveis sob a perspectiva fisiológica e ecológica (LABOURIAU, 1983).

Tabela 5. Tempo médio de germinação (TMG) de sementes de *Senna spectabilis* var. Excelsa, submetidas a diferentes métodos de superação de dormência (MSD) e posterior ciclo de hidratação (14h) e desidratação (5h) (CHD). Serra Talhada – PE, 2026.

| MSD | CHD | SHD |
|-----|------------|---------|
| | TMG (dias) | |
| T1 | 0 bA | 0 bA |
| T2 | 2,16 aB | 3,44 aA |
| T3 | 3,15 aA | 3,52 aA |
| T4 | 2,57 aB | 4,13 aA |
| T5 | 2,41 aB | 4,07 aA |
| T6 | 2,02 aB | 3,30 aA |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. **Legenda:** MSD = Métodos de superação de dormência ; CHD = Ciclo de hidratação-desidratação; SHD = Sem ciclo de hidratação-desidratação; T1 – Testemunha ; T2 – Escarificação com lixa de madeira nº 180; T3 – Escarificação com lixa nº 180+ Imersão em Água por 12 horas; T4 – Imersão em Água por 12 horas ; T5 – Soda Cáustica 20% por 60 min; T6 – Ácido Sulfúrico por 60 min.

Fonte: Autoria própria

Independente da submissão das sementes ao ciclo de hidratação e desidratação após os métodos de superação de dormência, os mesmos não diferiram entre si quanto ao tempo médio de germinação (Tabela 5); destaca-se que como as sementes da testemunha não germinaram, o tempo médio de germinação foi zero.

A comparação entre sementes submetidas e não submetidas ao ciclo de hidratação e desidratação (CHD) indica que o CHD promoveu redução significativa no tempo médio de germinação em parte dos tratamentos. Especificamente, nos tratamentos escarificação com lixa nº 180 (T2), imersão em água por 12 horas (T4), soda cáustica 20% por 60 minutos (T5) e ácido sulfúrico por 60 minutos (T6), as sementes submetidas ao CHD apresentaram menores valores de tempo médio de germinação em relação às não submetidas, evidenciando germinação mais rápida.

Para o tratamento escarificação com lixa nº 180 + imersão em água por 12 horas (T3), não houve diferença significativa entre as condições com e sem CHD.

Esses resultados indicam que o ciclo de hidratação e desidratação, nas condições avaliadas, favorece a velocidade de germinação em determinados tratamentos, possivelmente por promover a ativação de processos metabólicos associados à retomada do crescimento embrionário.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), o tempo médio de germinação é um parâmetro sensível às condições ambientais e aos tratamentos pré-germinativos, sendo influenciado diretamente pela integridade das membranas e pela velocidade de reativação metabólica. Em espécies da Caatinga, como *Amburana cearenses* (Allemão) A.C.Sm e *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P.Queiroz, variações no tempo médio de germinação foram associadas tanto à eficiência dos métodos de superação de dormência quanto à disponibilidade hídrica durante o processo germinativo (NOGUEIRA *et al.*, 2018; FREITAS *et al.*, 2020).

Além disso, estudos mais recentes indicam que ciclos de hidratação e desidratação podem ter efeitos contrastantes dependendo da intensidade e da duração dos ciclos, podendo tanto favorecer a germinação quanto retardá-la. Em sementes de espécies xerófitas, esse mecanismo está relacionado à adaptação às chuvas irregulares do semiárido, mas sua aplicação experimental nem sempre reproduz exatamente os benefícios observados em condições naturais (SOUZA *et al.*, 2021).

Dessa forma, conclui-se que os métodos imersão ácido sulfúrico por 60 min. e a escarificação com lixa de madeira nº 180 do lado oposto à protrusão da raiz primária foram mais eficientes na redução do tempo médio de germinação na ausência do ciclo de hidratação - desidratação, promovendo germinação mais rápida. Por outro lado, a aplicação do ciclo de hidratação-desidratação resultou, de maneira geral, em aumento do tempo médio de germinação, indicando que sua utilização deve ser cuidadosamente avaliada em conjunto com os métodos de superação de dormência para essa espécie.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de superação de dormência influenciaram significativamente as variáveis germinativas, sendo seus efeitos dependentes da interação com o ciclo de hidratação e desidratação (CHD).

Para a porcentagem de germinação, os tratamentos escarificação com lixa nº 180 (T2), escarificação seguida de imersão em água por 12 horas (T3) e ácido sulfúrico por 60 minutos (T6) foram os mais eficientes, atingindo os maiores percentuais, independentemente da aplicação do CHD. O ciclo promoveu incremento específico no tratamento T2, elevando a germinação em relação à ausência do ciclo.

Em relação ao índice de velocidade de germinação (IVG), o tratamento ácido sulfúrico por 60 minutos (T6) apresentou os maiores valores tanto na presença quanto na ausência do CHD, evidenciando elevada eficiência independente do ciclo. O tratamento imersão em água por 12 horas (T4) apresentou aumento significativo no IVG quando associado ao CHD, indicando efeito positivo do ciclo nessa condição. Por outro lado, no tratamento soda cáustica 20% por 60 minutos (T5), o CHD reduziu o IVG, evidenciando efeito negativo da interação.

Para o tempo médio de germinação (TMG), observou-se que o CHD promoveu redução significativa nos tratamentos T2 (escarificação com lixa nº 180), T4 (imersão em água por 12 horas), T5 (soda cáustica 20%) e T6 (ácido sulfúrico), resultando em germinação mais rápida nessas condições. No tratamento T3 (escarificação + imersão em água), não houve efeito do ciclo.

De forma geral, o tratamento com ácido sulfúrico por 60 minutos (T6) destacou-se por apresentar alto desempenho em todas as variáveis avaliadas, independentemente da aplicação do CHD. O efeito do ciclo de hidratação e desidratação foi dependente do método de superação de dormência, promovendo benefícios específicos, principalmente quando associado à escarificação mecânica e à imersão em água.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA/UNIVASF), Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR, pela disponibilização das sementes utilizadas neste estudo, contribuindo de forma essencial para a realização do experimento.

Ao Núcleo de Estudos em Sementes do Semiárido (NESS) – UFRPE/UAST, pela colaboração durante a condução da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Edna Ursulino **et al.** Escarificação ácida na superação da dormência de sementes de *Caesalpinia ferrea*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 1–7, 2007.
- ALVES, Eurípedes de Oliveira **et al.** Superação de dormência em sementes de espécies da Caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 151–160, 2015.
- BEWLEY, J. D. **et al.** *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3. ed. New York: Springer, 2013.

- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.
- COELHO, Maria de Fátima Barbosa **et al.** Superação da dormência tegumentar em sementes de *Caesalpinia ferrea*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 17, n. 1, p. 1–8, 2022.
- FREITAS, Raquel Maria de Oliveira **et al.** Germinação e vigor de sementes de espécies florestais da Caatinga sob diferentes tratamentos pré-germinativos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 15, n. 2, p. 1–8, 2020.
- LIMA, Ana Tereza de; MEIADO, Marcos Vinícius. Ciclos de hidratação e desidratação em sementes de espécies da Caatinga. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 287–295, 2017.
- MARCOS-FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.
- NASCIMENTO, Warley Marcos do; CÍCERO, Silvio Moure; NOVEMBRE, Ana Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias. Dormência em sementes de espécies florestais. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 33, n. 2, p. 251–260, 2003.
- PELLIZZARO, Kênia Ferreira **et al.** Superação da dormência e influência do condicionamento fisiológico em sementes de espécies florestais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 1–8, 2010.
- SILVA, Kássio Bruno da **et al.** Métodos de superação de dormência em sementes de espécies florestais da Caatinga. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 789–796, 2014.
- SOUZA, Paulo Ferreira de **et al.** Métodos de superação de dormência em sementes de espécies da Caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 1–10, 2020.

CAPÍTULO XIV

EFICIÊNCIA DE CORANTES SINTÉTICOS E NATURAIS NA VISUALIZAÇÃO DA VIABILIDADE POLÍNICA EM MAMOEIRO (*CARICA PAPAYA L.*)

EFFICIENCY OF SYNTHETIC AND NATURAL DYES IN VISUALIZING POLLEN VIABILITY IN PAPAYA (*CARICA PAPAYA L.*)

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-14

Ana Paula Teixeira da Silva¹
Juliana Souza de Deus Vasconcelos¹
Loryane Ribeiro Freire¹
Maria Izabel Pereira Campos¹
Matheus Beltran Redez¹
Paulo Wesley Mamoré de Arruda¹
Isane Vera Karsburg²

¹ Mestrando (a) do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas – Universidade do Estado de Mato Grosso UNEMAT - MT

² Professor Adjunto da Faculdade de Ciências Biológica e Agrárias. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT – MT

RESUMO

O mamoeiro (*Carica papaya L.*) possui expressiva relevância econômica e nutricional para o Brasil, sendo o sucesso de sua produção dependente da eficiência reprodutiva, especialmente da viabilidade do pólen. Este estudo objetivou comparar a eficácia de corantes sintéticos e naturais na estimativa da viabilidade polínica de flores masculinas de mamoeiro do grupo Formosa, coletadas em Cáceres, Mato Grosso. A metodologia envolveu a análise de 25 botões florais distribuídos em testes colorimétricos com quatro tratamentos: orceína acética e lugol (sintéticos), e extratos de hibisco e beterraba (naturais). Foram analisadas 10 lâminas por corante em microscopia óptica, classificando cerca de 250 grãos de pólen conforme a integridade e intensidade da coloração. Os resultados revelaram que não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre os métodos, com médias de viabilidade variando de 79,21% (hibisco) a 85,70% (beterraba). Contudo, na análise qualitativa, o lugol 2% destacou-se por proporcionar maior contraste e nitidez, facilitando a visualização das estruturas. Conclui-se que o mamoeiro apresenta altos índices de fertilidade polínica e que os corantes naturais são alternativas sustentáveis e de baixo custo, embora menos

precisos visualmente que os tradicionais. O estudo reforça a viabilidade do uso de corantes naturais em programas de melhoramento genético, ressaltando que o lugol permanece como a ferramenta mais prática para rotinas laboratoriais pela clareza visual.

Palavras-chave: Frutífera. Fertilidade polínica. Corantes naturais. Técnicas de coloração.

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya L.*) holds significant economic and nutritional importance for Brazil, and its production success depends on reproductive efficiency, particularly pollen viability.

This study aimed to compare the effectiveness of synthetic and natural dyes in estimating the pollen viability of male flowers from Formosa group papaya, collected in Cáceres, Mato Grosso. The methodology involved the analysis of 25 flower buds distributed into colorimetric tests using four treatments: acetic orcein and Lugol's solution (synthetic), and hibiscus and beetroot extracts (natural). Ten slides were analyzed per dye under light microscopy, classifying approximately 250 pollen grains based on color integrity and intensity. The results showed no statistically significant



difference ($p > 0.05$) among the methods, with viability averages ranging from 79.21% (hibiscus) to 85.70% (beetroot). However, in the qualitative analysis, Lugol's solution stood out for providing higher contrast and sharpness, facilitating the visualization of pollen structures. It is concluded that papaya exhibits high rates of pollen fertility and that natural dyes are sustainable, low-cost

alternatives, although visually less precise than traditional ones. The study reinforces the feasibility of using natural dyes in plant breeding programs, noting that Lugol remains the most recommended tool for laboratory routines due to its visual clarity.

Keywords: Fruit-bearing. Pollen fertility. Natural dyes. Staining techniques.

1. INTRODUÇÃO

O mamão (*Carica papaya L.*) é uma cultura que tem uma grande relevância econômica e alimentar, onde consegue se adaptar facilmente em diferentes climas e com isso é cultivado em regiões de clima quente. O Brasil é um dos principais produtores mundiais de mamão. O mesmo é pertencente à família Caricaceae, o mamoeiro caracteriza-se pelo crescimento acelerado e elevada capacidade produtiva, o que o torna importante tanto para o mercado interno quanto para a exportação. Quando se trata do aspecto nutricional, o mamão apresenta elevado valor devido à presença de várias vitaminas, sendo as principais as vitaminas A e C, além disso, o mamão é rico em fibras e compostos antioxidantes, como carotenoides e fenólicos, que desempenham papel importante na promoção da saúde e na prevenção de enfermidades (Embrapa, 2025).

A viabilidade do pólen no mamoeiro é considerada um fator determinante para o êxito reprodutivo da cultura, pois é influenciado diretamente os processos de polinização, fecundação, até a formação dos frutos. Estudos recentes mostram que a presença de grãos de pólen viáveis é um quesito fundamental para assegurar a germinação e o desenvolvimento adequado do tubo polínico até o óvulo, onde gera impacto diretamente a produtividade do mamoeiro (Santos et al., 2025).

Entre inúmeros métodos, os métodos utilizados para avaliação da viabilidade polínica, destacam-se as técnicas baseadas em coloração do polén viável, sendo utilizada a orceína acética e a solução de lugol, que analisam principalmente a integridade estrutural e o conteúdo celular dos grãos de pólen (Freitas et al., 2022). Com isso há uma enorme praticidade, rapidez e baixo custo, esses métodos podem superestimar a viabilidade, frequentemente apresentando valores elevados mesmo quando parte dos grãos de polén não possui capacidade efetiva de germinação (Dantas et al., 2021). Ainda assim, devido à facilidade de aplicação, as técnicas continuam sendo amplamente empregadas em avaliações iniciais, especialmente em programas de melhoramento genético (Freitas et al., 2022).

Além dos corantes sintéticos tradicionalmente utilizados como orceína acética e o lugol, nota-se a adoção de corantes naturais, como extratos de hibisco e beterraba, que é uma alternativa promissora e mais sustentável. Essa abordagem pode contribuir para análises eficientes da viabilidade polínica do mamão, especialmente quando são associadas a métodos complementares, como a germinação in vitro (Almeida et al., 2022; Santos et al., 2023).

Diante disso, este estudo teve como objetivo comparar diferentes métodos de coloração quanto à sua eficiência na visualização da viabilidade polínica em amostras provenientes de botões florais de mamão, buscando identificar a técnica mais adequada para evidenciar as características morfológicas e estruturais dos grãos de pólen e, assim, aprimorar a precisão das análises dessa variabilidade. Com isso foi utilizado os corantes sintéticos que foram a orceína acética e o lugol, e adotados a utilização dos corantes naturais como extrato de hibisco e extrato de beterraba.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A viabilidade do grão de pólen é um fator determinante para o sucesso da fecundação e formação de frutos em mamoeiro, influenciando diretamente a produtividade e a qualidade da cultura (Munhoz et al., 2008).

Os testes de coloração são amplamente utilizados na avaliação da viabilidade polínica por sua rapidez, simplicidade e baixo custo, sendo ferramentas importantes em estudos reprodutivos de espécies como o mamoeiro. Esses métodos baseiam-se na integridade celular e na atividade metabólica dos grãos de pólen, permitindo distinguir entre estruturas aparentemente viáveis e inviáveis. No entanto, sua interpretação deve ser feita com cautela,

uma vez que determinados corantes podem indicar viabilidade mesmo em grãos incapazes de germinar, o que pode levar à superestimação dos resultados quando comparados a testes fisiológicos mais precisos, como a germinação in vitro. Dessa forma, recomenda-se a utilização combinada de métodos para uma avaliação mais confiável da fertilidade do pólen (Shivanna & Rangaswamy, 1992; Munhoz et al., 2008).

2.1. IMPORTÂNCIA DO MAMÃO

O mamão é uma das frutas mais nutritivas e populares do mundo e é consumido preferencialmente como fruta fresca. É fonte de minerais e de compostos antioxidantes como os carotenoides e os compostos fenólicos. Na indústria de alimentos, é transformado em doces, fruta desidratada e cristalizada, geleias, sucos, néctares e polpa. O mamoeiro contém

látex, onde se concentra a papaína, enzima proteolítica usada na indústria farmacêutica por suas propriedades cicatrizante, anti-inflamatória, bactericida e bacteriostática e de melhoria da digestão. A papaína é também amplamente utilizada nas indústrias têxtil, de bebidas, couro e cosméticos. (Embrapa, 2021).

2.2. IMPORTÂNCIA DA VIABILIDADE POLÍNICA

A avaliação da viabilidade dos grãos de pólen é o primeiro passo para se verificarem as chances que ele tem de germinar no estigma da flor, o que é crucial à fertilização. (Dafni, 1992).

O armazenamento do grão de pólen para uso nos programas de melhoramento é requerido por várias situações, como a correção da não coincidência de florações ou apenas para ser utilizado em cultivares de floração tardia (Cuchiara, et al., 2012).

A estimativa da viabilidade dos grãos de pólen frescos ou fixados, pode ser feita através do emprego de diferentes técnicas sendo que as mais utilizadas são a coloração do citoplasma dos grãos e a germinação in vitro, esta última muito empregada no monitoramento de pólen vivo armazenado (Oliveira et al., 2001).

3. METODOLOGIA

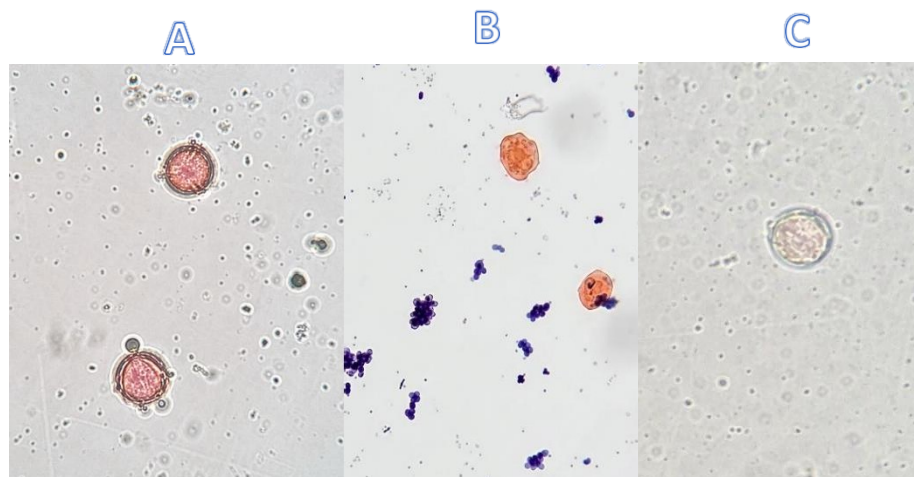
No presente trabalho, foram utilizados grãos de pólen oriundos de flores masculinas de mamoeiro (*Carica papaya L.*), pertencentes ao grupo Formosa. As flores foram coletadas em plantas cultivadas em ambiente doméstico, localizadas no município de Cáceres, estado de Mato Grosso, Brasil. Para a condução do experimento, foram coletados 25 botões florais provenientes de três plantas distintas. Após a coleta, os botões foram acondicionados em solução conservante (vinagre de álcool) até o momento das análises.

A viabilidade polínica foi avaliada por meio de testes colorimétricos, utilizando os corantes orceína acética 2%, solução de Lugol 2%, corante natural à base de hibisco 50% (*Hibiscus spp.*) e corante natural à base de beterraba 50% (*Beta vulgaris L.*).

Para o preparo das lâminas de microscopia, foram utilizadas anteras dos botões florais, sendo estas maceradas em uma gota do respectivo corante sobre a lâmina. Para cada corante, foram analisadas 10 lâminas. Após a preparação, o excesso de corante foi removido com papel toalha e, após alguns minutos de repouso, as lâminas foram observadas em microscópio óptico de campo claro.

Os grãos de pólen foram classificados como viáveis ou inviáveis com base na intensidade e uniformidade da coloração, sendo considerados viáveis aqueles que apresentaram coloração intensa e uniforme, enquanto os inviáveis apresentaram coloração fraca, irregular ou ausência de coloração (Figura 1). Ao final das análises, foram contabilizados 250 grãos de pólen por lâmina, classificados em viáveis e inviáveis.

Figura 1 - (A) grãos de pólen viáveis (B) grãos de pólen irregular e (C) grãos inviáveis.



Fonte: Autoria própria.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não indicou diferença estatisticamente significativa entre os corantes na avaliação da viabilidade dos grãos de pólen ($p > 0,05$), demonstrando comportamento semelhante entre os tratamentos. Os valores médios de viabilidade polínica (Tabela 1) corroboram os achados de Souza *et al.* (2002), que não observaram diferenças estatísticas entre métodos colorimétricos. No entanto, qualitativamente, o Lugol proporcionou maior contraste, facilitando a contagem visual.

Tabela 1 – Viabilidade (%) de grãos de pólen de mamoeiro submetidos a diferentes corantes

| Tratamentos | Médias |
|---------------|--------------------|
| Hibisco 50% | 79,21 ^a |
| Lugol 2% | 80,06 ^a |
| Orceína 2% | 82,24 ^a |
| Beterraba 50% | 85,70 ^a |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

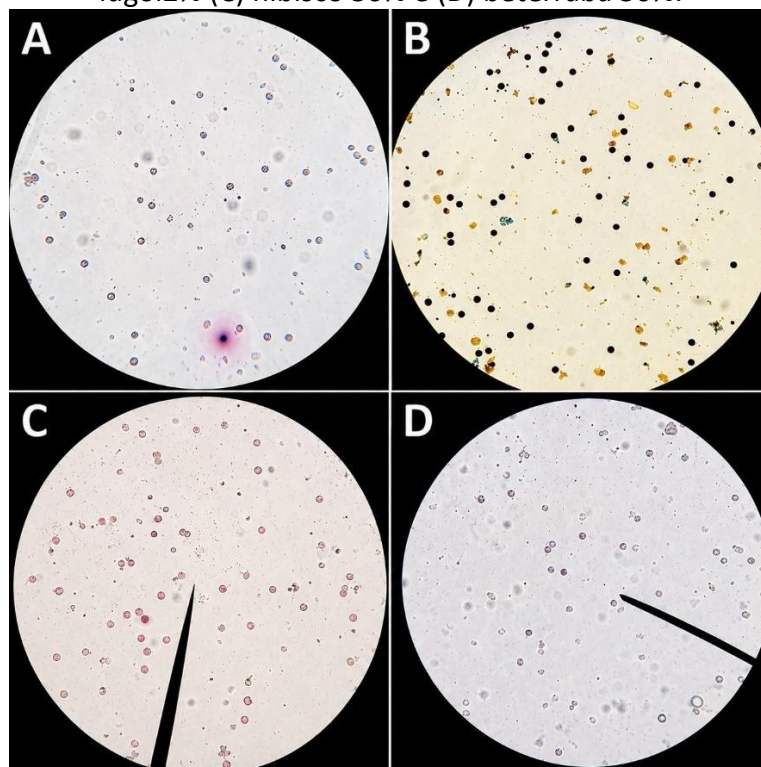
Fonte: Autoria própria.

A utilização de corantes é amplamente empregada na avaliação da viabilidade de grãos de pólen, baseando-se na diferenciação entre estruturas celulares íntegras e degradadas Dafni e Firmage, (2000). No entanto, a eficiência dos corantes pode variar quanto à intensidade da coloração e à facilidade de interpretação dos resultados.

De acordo com Sousa *et al.* (2014), diferentes corantes utilizados na avaliação da viabilidade polínica podem apresentar resultados quantitativamente semelhantes, embora diferenças na intensidade e nitidez da coloração possam influenciar a interpretação visual dos grãos de pólen.

No presente estudo, apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, o corante Lugol apresentou maior nitidez na coloração, facilitando a distinção entre grãos viáveis e inviáveis, conforme observado na Figura 2. Esses resultados evidenciam a importância de considerar não apenas os dados quantitativos, mas também aspectos qualitativos na escolha do método de avaliação, corroborando a literatura (Souza *et al.*, 2002).

Figura 2 – Grãos de pólen corados com diferentes corantes: (A) orceína acética 2 % (B) lugol 2% (C) hibisco 50% e (D) beterraba 50%.



Fonte: Autoria própria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitem concluir que o mamoeiro (*Carica papaya L.*) do grupo Formosa apresenta elevados índices de viabilidade polínica, independentemente do método de coloração aplicado. O fato de os dados não serem estatisticamente diferentes evidencia que os corantes naturais de hibisco (*Hibiscus spp.*) e beterraba (*Beta vulgaris L.*) constituem alternativas eficazes e sustentáveis frente aos reagentes sintéticos tradicionais.

Contudo, do ponto de vista qualitativo, observou-se que os corantes naturais apresentam limitações quanto à nitidez e ao contraste visual, o que pode dificultar a rotina de contagem. Nesse sentido, o Lugol permanece como o método mais recomendado pela sua clareza visual, sendo o uso de corantes naturais indicado como uma alternativa viável em situações de escassez de recursos ou quando se busca reduzir o uso de substâncias químicas em laboratório.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos a todos que como um conjunto de mestrandos fizeram com que esse estudo fosse concluído com êxito, em especial a Prof^a Dr^a Isane Vera Karsburg, pelo suporte, acolhimento e aprendizado que foi de suma importância para se obter resultados. Agradecemos também a instituição do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. S. et al. Uso de corantes naturais na avaliação da viabilidade polínica. *Revista Ciência Agronômica*, 2022.
- CUCHIARA, C. C.; BOBROWSKI, V. L. Conservação de grãos de pólen de mamoneira a baixas temperaturas. *Revista Ceres*, v. 59, n. 1, p. 82–87, 2012.
- DAFNI, A. *Pollination ecology: a practical approach*. New York: Oxford University Press, 2012. 250 p.
- DAFNI, A.; FIRMAGE, D. Pollen viability and longevity: practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*, v. 222, p. 113-132, 2000.
- DANTAS, B. F. et al. Avaliação da viabilidade polínica em frutíferas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2021.
- Mamão - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mamao> Acesso em: 18 abr. 2026

- Mamão - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mamao>. Acesso em: 20 abr. 2026. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/beneficios-do-mamao-papaia/> Acesso em: 18 abr. 2026
- ESQUIVEL-FARIÑA, A. M. et al. Viral diseases affecting papaya crops. *Plants*, 2021.
- FREITAS, R. S. et al. Métodos de análise da viabilidade polínica em plantas cultivadas. *Scientia Agraria*, 2022.
- MEDEIROS, F. C. et al. Doenças virais em mamoeiro e impactos na produção. *Revista de Fitopatologia*, 2025.
- MUNHOZ, M.; LUZ, C. F. P.; MEISSNER FILHO, P. E. Viabilidade polínica de *Carica papaya* L.: comparação de métodos de avaliação. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 31, n. 2, p. 299-307, 2008.
- OLIVEIRA, M. A. et al. Avaliação comparativa de métodos colorimétricos em pólen. *Acta Agronômica*, 2024.
- OLIVEIRA, M. do S.; PADILHA, M. M. M.; KALUME, M. A. de A. Viabilidade de pólen in vivo e in vitro em genótipos de açazeiro. *Acta Botanica Brasilica*, v. 15, n. 1, p. 27-33, 2001.
- RAMOS, J. D. et al. Variabilidade genética e conservação de germoplasma em mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2021.
- SANTOS, J. A. S. et al. Viabilidade polínica em genótipos de mamoeiro. Embrapa, 2023.
- SANTOS, J. A. S. et al. Viabilidade do gameta masculino em genótipos de mamoeiro. Embrapa, 2025.
- SHIVANNA, K. R.; RANGASWAMY, N. S. *Pollen Biology: A Laboratory Manual*. Berlin: Springer-Verlag, 1992.
- SILVA, D. F. da et al. Viabilidade polínica e quantificação de grãos de pólen em espécies de fisális. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 2, p. 365-373, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170042>.
- SILVA, L. F. et al. Técnicas laboratoriais para análise de pólen em culturas tropicais. *Agronomy Journal*, 2021.
- SOUSA, S. M.; MARTINS, C. F.; PEREIRA, T. N. S. Viabilidade polínica e métodos de coloração em espécies vegetais. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 4, p. 779-786, 2014.
- SOUZA, L. F. et al. Armazenamento de pólen e longevidade em culturas tropicais. *Revista de Ciências Agrárias*, 2022.
- SOUZA, M. T. et al. Aspectos agronômicos da cultura do mamão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2018.

SOUZA, M. M.; PEREIRA, T. N. S.; MARTINS, E. R. Viabilidade de pólen e métodos de coloração em espécies vegetais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 24, n. 2, p. 306-309, 2002.

DETERMINAÇÃO DA VIABILIDADE POLÍNICA DE MARACUJÁ UTILIZANDO DIFERENTES CORANTES

DETERMINATION OF PASSION FRUIT POLLEN VIABILITY USING DIFFERENT DYES

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-15

Joelma Lourenço Pereira Mendes¹

Auriane dos Reis Pimentel¹

Carine Alves Fantini¹

João Paulo de Souza Voltolini¹

Rafael Barreiro Silva¹

Livia de Moura Pio²

Isane Vera Karsburg³

¹ Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – UNEMAT

² Doutoranda do programa de pós-graduação em Biotecnologia e Biodiversidade da Rede Pro Centro-Oeste - UNEMAT

³ Professora Adjunta da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

RESUMO

A cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) possui grande importância econômica no Brasil, sendo amplamente cultivada. No entanto, sua produtividade ainda é limitada por fatores reprodutivos, como a viabilidade polínica, essencial em programas de melhoramento genético. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade dos grãos de pólen da cultivar UNEMAT Conquista utilizando diferentes corantes, visando identificar métodos mais eficientes na distinção entre pólenes viáveis e inviáveis. O experimento foi conduzido com botões florais coletados em pré-antese, provenientes de três genótipos. A viabilidade polínica foi determinada por meio de quatro corantes: orceína acética 2%, Lugol 2% e corantes naturais à base de beterraba 50% e hibisco 50%. Foram analisados 7.500 grãos de pólen por corante, com auxílio de microscopia óptica. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e 30 repetições. Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os corantes avaliados. A orceína acética 2% apresentou maior eficiência, com viabilidade superior a 94%, seguida pelo hibisco 50% e pelo Lugol 2%. Apesar dos valores elevados, o Lugol 2% apresentou limitações quanto à diferenciação visual dos grãos,

dificultando a interpretação dos resultados. Em contrapartida, o corante à base de beterraba 50% demonstrou menor eficiência na distinção entre grãos viáveis e inviáveis. Conclui-se que a orceína acética 2% e o hibisco 50% são os corantes mais indicados para avaliação da viabilidade polínica, contribuindo para análises mais precisas e eficientes em viabilidade em grãos de pólen do maracujazeiro.

Palavras-chave: Fruticultura. *Passiflora edulis*. Pólen. Corante.

ABSTRACT

Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) cultivation is of great economic importance in Brazil, being widely cultivated. However, its productivity is still limited by reproductive factors, such as pollen viability, which is essential in genetic improvement programs. In this context, the present study aimed to evaluate the viability of pollen grains of the Unemat Conquista cultivar using different dyes, to identify more efficient methods for distinguishing between viable and non-viable pollen. The experiment was conducted with flower buds collected pre-anthesis from three genotypes. Pollen viability was determined using four dyes: 2% acetic

orcein, 2% Lugol's solution, and natural dyes based on 50% beetroot and 50% hibiscus. 7,500 pollen grains were analyzed per dye using optical microscopy. The experimental design adopted was completely randomized, with four treatments and 30 repetitions. The results showed significant differences between the dyes evaluated. 2% acetic orcein showed the highest efficiency, with viability exceeding 94%, followed by 50% hibiscus and 2% Lugol's solution. Despite the high values, 2% Lugol's solution presented limitations regarding the visual differentiation of the grains, hindering the

interpretation of the results. In contrast, the 50% beetroot-based dye demonstrated lower efficiency in distinguishing between viable and non-viable grains. It is concluded that 2% acetic orcein and 50% hibiscus are the most suitable dyes for evaluating pollen viability, contributing to more precise and efficient analyses of viability in passion fruit pollen grains.

Keywords: Orchardling. *Passiflora edulis*. Pollen. Dye.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Passiflora*, pertencente à família *Passifloraceae*, reúne mais de 500 espécies distribuídas em regiões tropicais e subtropicais, sendo o termo “maracujá” utilizado como denominação comum para diversas dessas espécies (Embrapa, 2026). No Brasil, as cultivares comerciais são predominantemente baseadas na espécie *Passiflora edulis* Sims, conhecida popularmente como maracujá-amarelo (Meletti; Brückner, 2001).

A cultura do maracujá apresenta elevada importância econômica no Brasil, tanto pelo volume de produção quanto pela sua contribuição social e produtiva nas cadeias agroindustriais. Em 2024, segundo o IBGE, a produção nacional alcançou 736.583 toneladas, com destaque para os estados da Bahia (264.138 t) e do Ceará (160.709 t), evidenciando a relevância dessa cultura no cenário frutícola brasileiro.

Além de posicionar o país como maior produtor e consumidor, a nível mundial, o maracujazeiro destaca-se pela geração de empregos no meio rural, pela oferta contínua de renda ao longo do ano e pelas diversas formas de comercialização e agregação de valor. No entanto, a produtividade média ainda é considerada baixa, o que pode estar relacionado à limitada adoção de cultivares geneticamente melhoradas e ao uso insuficiente de tecnologias de produção (Faleiro; Junqueira, 2016).

Neste contexto, a realização da análise da viabilidade polínica justifica-se por sua pertinência na determinação da fertilidade masculina e no suporte a cruzamentos em programas de melhoramento genético de espécies do gênero *Passiflora*. Esse tipo de avaliação permite identificar o potencial produtivo dos genótipos, selecionar materiais mais promissores e orientar estratégias de hibridação e conservação de recursos genéticos (Grecco; Borges; Praça-Fontes, 2017).

O método empregado na obtenção da cultivar Unemat Conquista foi a seleção recorrente intrapopulacional (Krause; Nespoli; Santos, 2024), técnica que favorece a manutenção da variabilidade genética, incluindo a variabilidade polínica. Esse aspecto é relevante, uma vez que, conforme relatado por Meletti e Brückner (2001), cultivares híbridas interespecíficas podem apresentar limitações como baixa viabilidade polínica, esterilidade masculina ou dificuldades no florescimento.

O teste de viabilidade polínica pode ser realizado por diferentes metodologias, destacando-se os testes colorimétricos, amplamente utilizados por sua simplicidade e eficiência na avaliação da viabilidade do pólen, uma vez que indicam a presença de componentes metabólicos ativos em células viáveis (Buta *et al.*, 2015).

Os corantes empregados nesse tipo de teste podem ser agrupados em químicos e naturais. Entre os corantes químicos, destacam-se a orceína acética (La Cour, 1941), que apresenta afinidade pelos cromossomos, e o lugol (Jensen, 1962), que reage com o amido presente nos grãos de pólen. Por outro lado, o uso de corantes naturais baseia-se na presença de compostos bioativos com propriedades cromóforas, como as antocianinas presentes no hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.) e as betalainas na beterraba (*Beta vulgaris* L.) (Stringheta; Freitas, 2021), permitindo a diferenciação entre grãos de pólen viáveis e inviáveis a partir da coloração obtida.

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade polínica da cultivar UNEMAT Conquista por meio da utilização de quatro tipos de corantes, sendo dois de origem química e dois de origem natural. Buscou-se identificar qual desses corantes apresenta maior eficiência na distinção entre grãos de pólen viáveis e inviáveis, destacando-se como o mais adequado para aplicação em testes de viabilidade polínica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No estudo foram utilizados 12 botões florais de maracujá (*Passiflora edulis* Sims), provenientes da cultivar de maracujazeiro azedo Unemat Conquista, coletados em estágio de pré-antese. As amostras foram obtidas de três genótipos da área experimental do campus da UNEMAT em Tangará da Serra - MT, no período vespertino, no intervalo das 13h às 14h. Após a coleta, o material foi submetido em solução de vinagre a 4% de ácido acético e armazenado em temperatura de 25 C°.

A realização da viabilidade polínica foi conduzida no Laboratório Didático da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), localizado no campus de Alta Floresta - MT. A avaliação foi realizada por meio da coloração dos grãos de pólen utilizando quatro tipos de corantes: orceína acética 2% (La Cour, 1941), lugol 2% (Jensen, 1962); e dois corantes naturais, sendo eles o de beterraba e hibisco.

Para a análise polínica, as anteras foram removidas e cortadas em três partes, cada fragmento foi distribuído sobre lâmina de vidro. Em seguida, adicionou-se uma gota do corante específico em cada amostra, cobrindo com uma lamínula. Posteriormente, o material foi levemente macerado, com auxílio de um bastão de vidro, com o objetivo de otimizar a dispersão dos grãos de pólen.

Selecionou-se 4 botões florais por planta, onde foram preparadas 10 lâminas com os diferentes tipos de corante, nas quais foram observadas com auxílio de um microscópio óptico com lente objetiva de 10X, sendo contabilizados 250 grãos de pólen por lâmina, totalizando 7.500 polens por corante. Diante disso, os pólenes foram considerados viáveis e inviáveis de acordo com a coloração apresentada.

No experimento usou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 tratamentos (corantes) e 30 repetições por tratamento, totalizando 120 unidades experimentais. As repetições foram obtidas a partir das amostras provenientes de 3 diferentes plantas. Os dados foram tabulados e submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A viabilidade polínica dos grãos de pólen de maracujazeiro azedo, cultivar Unemat Conquista, avaliada por meio de quatro diferentes corantes, está apresentada na tabela 1. O coeficiente de variação (CV%) foi de 9,98 %, sendo considerado baixo, que mostra a eficiência da apresentação dos resultados. Valores inferiores a 10% indicam pequena dispersão dos dados, demonstrando homogeneidade e precisão experimental, conforme descrito por Fonseca e Martins (2012).

Os resultados evidenciaram diferença significativa entre os corantes avaliados. Destacaram-se a orceína acética 2%, o lugol 2% e o corante alternativo à base de hibisco, os quais apresentaram melhores resultados na determinação da viabilidade polínica. Esses

corantes são amplamente utilizados na literatura para essa finalidade em diferentes espécies (Santos *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2024; Almeida *et al.*, 2025).

De modo geral, a orceína acética 2% proporcionou elevada viabilidade polínica, com valores superiores a 94%, demonstrando alta eficiência desse corante na análise. Resultados semelhantes foram observados por Hister e Tedesco (2016), que relataram viabilidade superior a 98,1% em araçazeiro (*Psidium cattleianum* Sabine), quando comparada ao reativo de Alexander modificado.

Em relação aos corantes alternativos, foram observadas diferenças estatísticas entre os extratos de beterraba 50% e hibisco 50%. O corante alternativo à base de hibisco 50% se mostrou apropriado para uso em avaliação da viabilidade polínica do maracujazeiro, com base nos dados estatísticos. Além disso, é uma possibilidade de baixo custo e fácil acesso, destacando-se como uma alternativa semelhante aos corantes sintéticos convencionais.

Por outro lado, o corante à base de beterraba apresentou menor eficiência na distinção entre grãos de pólen viáveis e inviáveis, comparado aos outros corantes, indicando baixa capacidade de pigmentação dos grãos de pólen. Esse resultado pode estar relacionado à baixa afinidade de seus pigmentos com as estruturas celulares dos grãos de pólen do maracujazeiro.

De acordo com Souza, Pereira e Martins (2002), em programas de melhoramento vegetal em maracujazeiro, a viabilidade polínica deve ser superior a 70%. Nesse contexto, os valores obtidos neste estudo, apresentaram taxas de viabilidade superiores a 80% (Tabela 1), indicando que os corantes testados apresentam potencial para distinção da viabilidade dos grãos de pólen da cultivar avaliada.

Tabela 1 – Médias da viabilidade polínica da cultivar Unemat Conquista.

| Tratamentos | Corante | Média | Viabilidade (%) |
|-------------|--------------------|---------|-----------------|
| T1 | Orceína Acética 2% | 235,23a | 94,09 |
| T2 | Lugol 2% | 230,50a | 92,20 |
| T3 | Beterraba 50% | 208,57b | 83,43 |
| T4 | Hibisco 50% | 234,00a | 93,60 |
| CV% | | 9,98 | |

Fonte: Autores (2026).

Quanto às características morfológicas, os grãos de pólen viáveis apresentaram formato predominantemente esférico, com coloração intensa e uniforme, enquanto os

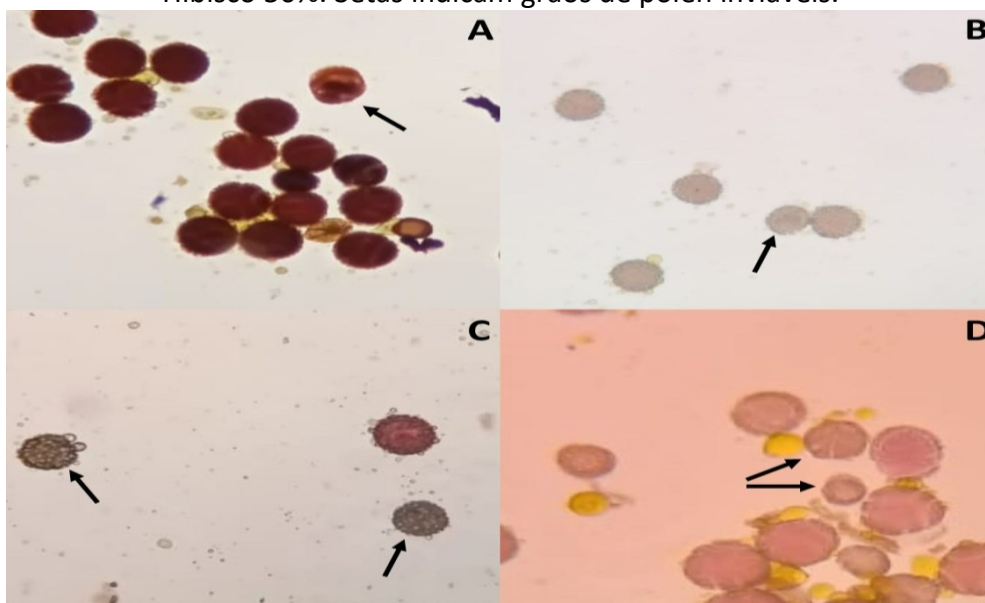
inviáveis exibiram coloração mais clara ou incompleta, além de morfologia irregular ou deformada, conforme ilustrado na figura 1.

Os métodos de coloração à base de orceína acética 2%, beterraba 50% e hibisco 50% (Figura 1 A, C e D) evidenciaram grãos de pólen viáveis com coloração avermelhada, enquanto os inviáveis apresentaram tonalidade marrom e aspecto semitransparente. Por sua vez, o Lugol 2% (Figura 1B), apesar de apresentar resultados estatisticamente significativos na análise, promoveu coloração semelhante entre os grãos, variando entre um rosa levemente claro nos grãos viáveis e cinza claro nos inviáveis, o que dificultou a distinção entre os pólenes avaliados.

Esse resultado foi semelhante ao relatado por Silva *et al.* (2024), que observaram dificuldade na diferenciação de grãos viáveis dos inviáveis em pólenes de zínia (*Zinnia elegans*) utilizando lugol 2%. Diante disso, esse corante não se mostrou adequado para a avaliação da viabilidade polínica do maracujazeiro, não sendo recomendado para essa espécie.

Por fim, conforme destacado por Hister e Tedesco (2016), a avaliação de diferentes corantes é fundamental para a escolha do método mais adequado, uma vez que não há um único método padrão eficiente para a determinação da viabilidade polínica em todas as espécies.

Figura 1 – Grãos de pólen de maracujazeiro Cultivar Unemat Conquista submetidos a diferentes métodos de coloração. A: Orceína Acética 2%; B: Lugol 2%; C) Beterraba 50%; D) Hibisco 50%. Setas indicam grãos de pólen inviáveis.



Fonte: Autores (2026).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, foi possível evidenciar que a viabilidade polínica da cultivar Unemat Conquista é elevada, indicando bom potencial reprodutivo e relevância para programas de melhoramento genético do maracujazeiro. Entre os corantes avaliados, a orceína acética 2%, o Lugol 2% e o hibisco 50% apresentaram médias de viabilidade estatisticamente semelhantes, enquanto o corante à base de beterraba apresentou desempenho inferior.

Apesar da alta viabilidade observada, o uso do Lugol 2% dificultou a diferenciação visual dos grãos de pólen, uma vez que promoveu coloração semelhante entre grãos viáveis e inviáveis, comprometendo a interpretação dos resultados.

A utilização de corantes alternativos, como o hibisco 50%, mostrou-se uma opção viável, de baixo custo e acessível, podendo contribuir para análises em condições com recursos limitados. Por outro lado, o corante à base de beterraba apresentou menor eficiência, podendo estar relacionado à menor afinidade dos seus pigmentos pelas estruturas celulares associadas à viabilidade, comprometendo a distinção dos grãos de pólen.

Nesse contexto, a orceína acética 2% e o hibisco 50% se destacaram pela eficiência na diferenciação entre grãos de pólen viáveis e inviáveis, apresentando resultados consistentes e de fácil interpretação. Já o Lugol e a beterraba não se mostraram os mais indicados para a espécie estudada.

Assim, é possível concluir que a escolha adequada do corante é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis na avaliação da viabilidade polínica, sendo que sua eficiência varia conforme a espécie vegetal analisada.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, através da concessão de bolsa de mestrado (processo nº 130058/2026-2).

E por fim, agradecemos à Profa. Dra. Isane Vera Karsburg pela orientação, condução das atividades práticas e compartilhamento de conhecimentos durante a disciplina de Genética Vegetal. Sua contribuição foi essencial para a execução do experimento e para a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Lucas dos Santos *et al.* Estimativa da Viabilidade de *Malpighia puniceifolia* L. Usando Métodos Colorimétricos. **Brazilian Journal of Biological Sciences**, v. 12, n. 26, p. e157-e157, 2025. Disponível em: <https://www.bjbs.com.br/index.php/bjbs/article/view/157>. Acesso em: 20 abr. 2026
- BUTA, Erzsebet, *et al.* FT-IR characterization of pollen biochemistry, viability, and germination capacity in *Saintpaulia* H. Wendl. genotypes. **Journal of Spectroscopy**, [S.l.], v. 2015, p. 1–7, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/706370>.
- EMBRAPA. Maracujá. In: EMBRAPA. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- FALEIRO, Fábio Gelape; JUNQUEIRA, Nilton Tadeu Vilela (editores técnicos). **Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, p. 341, 2016.
- FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de A. **Curso de estatística, 6ª edição**. Rio de Janeiro: Atlas, 2012. E-book. p.148. ISBN 9788522477937. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522477937/>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- GRECCO, Kalia Dável; BORGES, Katiuss Ferreira; PRAÇA-FONTES, Milene Miranda. TESTE COLORIMÉTRICO EM GRÃOS DE PÓLEN DE *Passiflora caerulea*, *P. foetida*, *P. miniata* e *P. mucronata*. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 661, 24 mar. 2017.
- HISTER, C. A. L.; TEDESCO, S. B. Estimativa da viabilidade polínica de araçazeiro (*Psidium cattleianum* Sabine) através de distintos métodos de coloração. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 18, n. 1, p. 135-141, 2016.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal: Valor da produção, Quantidade produzida, Área colhida, Rendimento médio, Maior produtor. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- JENSEN, William August. **Botanical histochemistry: principles and practice**. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1962.
- KRAUSE, Willian; NESPOLI, André; SANTOS, Eileen Azevedo (org.). Cartilha do fruticultor: cultivar UNEMAT Conquista. Tangará da Serra: Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), p. 20, 2024.

- LA COUR, Leonard. Acetic-orcein: a new stain-fixative for chromosomes. **Stain Technology**, v. 16, n. 4, p. 169-174, 1941.
- MELETTI, Laura Maria Molina; BRÜCKNER, Cláudio Horst. Melhoramento genético. In: BRÜCKNER, Cláudio Horst; PICANÇO, Marcelo Coutinho. **Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, p. 345-385, 2001.
- SANTOS, Taynara Antunes; TIAGO, Poliana Vicente; MEDEIROS, Kátia Fabiane. Viabilidade polínica em *Bertholletia excelsa* bonpl.(Lecythidaceae) baseada em diferentes testes colorimétricos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 3136-3144, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ana-Rossi/publication>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- SILVA, Jéssica *et al.* VIABILIDADE POLÍNICA EM *Zinnia elegans* Jacq.(ASTERACEAE) BASEADA EM TRÊS DIFERENTES TESTE COLORIMÉTRICOS. **Agrarian Academy**, v. 11, n. 21, p. 35-41, 2024. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2024A/viabilidade.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- SOUZA, Margarete Magalhães de; PEREIRA, Telma Nair Santana; MARTINS, Ernane Ronie. Microsporogênese e microgametogênese associadas ao tamanho do botão floral e da antera e viabilidade polínica em maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. flavicarpa Degener). **Ciência e agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1209-1217, 2002. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7655203/26-6-2002_13-libre.pdf. Acesso em: 23 abr. 2026.
- STRINGHETA, Paulo Cesar; FREITAS, Pedro Augusto Vieira de (org.). **Corantes naturais: da diversidade da natureza às aplicações e benefícios**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2021.

CAPÍTULO XVI

USO E APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALGAS COMO BIOESTIMULANTES DE PLANTAS NA AGRICULTURA TROPICAL

USE AND APPLICATION OF SEAWEED EXTRACT AS PLANT BIOSTIMULANTS IN TROPICAL AGRICULTURE

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-16

Maurício Felipe Silva ¹

Laís Viana Bruneli ²

Leonardo De Cillo Duarte Novaes ³

Marcia Leticia Monteiro Gomes ⁴

Dioclea Almeida Seabra Silva ⁵

Alasse Oliveira da Silva ⁶

Alane Oliveira da Silva ⁷

¹ Graduado em Agronomia. Especialista em Solos e Nutrição de Plantas – SolloAgro Esalq/USP.

² Graduada em Agronomia. Mestra e doutoranda em Fitotecnia – Esalq/USP.

³ Graduado em Agronomia. Mestrando em Fitotecnia – Esalq/USP.

⁴ Graduada em Biologia. Mestra e Doutoranda em Agronomia – UFMS.

⁵ Professora Adjunta do Departamento de Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

⁶ Graduado em Agronomia. Mestre e doutorando em Fitotecnia – Esalq/USP.

⁷ Graduado em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

RESUMO

Na busca por alternativas inovadoras, a adoção de extratos de algas marinhas na agricultura tem se expandido de forma significativa. Apesar de não possuírem estruturas vasculares, as algas são organismos fotossintetizantes capazes de realizar diversos processos metabólicos e de sintetizar substâncias orgânicas em sua biomassa. Os extratos obtidos dessas algas são ricos em vitaminas, glicoproteínas, citocininas, auxinas e betaínas. O uso de bioestimulantes formulados a partir desses extratos tem se mostrado eficaz na mitigação de estresses bióticos e abióticos, fornecendo nutrientes e compostos bioativos que fortalecem a capacidade das plantas de resistirem a condições adversas. A resposta dos cultivos ao uso desses produtos pode variar conforme a época de aplicação, sendo influenciada também pela espécie, cultivar, variedade da planta e pelas condições sazonais. A definição da dosagem ideal de aplicação dos extratos de algas depende de múltiplos fatores, entre eles o estágio fenológico da cultura e as características específicas da planta cultivada. Considerando os resultados observados em

diferentes pesquisas, a utilização de extratos de algas marinhas tem se mostrado promissora no incremento da produtividade agrícola, promovendo a melhora do desempenho fisiológico das plantas, com destaque para a indução de fitormônios, melhoria na nutrição e estímulo ao crescimento vegetal.

Palavras-chave: Bioestimulantes, estresse abiótico, fitormônios e produtividade agrícola.

ABSTRACT

In the search for innovative alternatives, the adoption of seaweed extracts in agriculture has significantly increased. Although lacking vascular structures, seaweeds are photosynthetic organisms capable of performing various metabolic processes and synthesizing organic compounds within their biomass. Extracts derived from these algae are rich in vitamins, glycoproteins, cytokinins, auxins, and betaines. The use of biostimulants formulated from such extracts has proven effective in mitigating both biotic and abiotic stresses by supplying nutrients



and bioactive compounds that enhance plant resilience under adverse conditions. Crop responses to these products may vary depending on the timing of application, as well as the species, cultivar, plant variety, and seasonal conditions. Determining the optimal dosage of seaweed extract application is influenced by several factors, including the crop's phenological stage and the specific characteristics of the cultivated plant. Based on findings from

various studies, the use of seaweed extracts shows great promise in increasing agricultural productivity, improving plant physiological performance, particularly through the stimulation of phytohormones, enhanced nutrition, and growth promotion.

Keywords: Biostimulants, abiotic stress, phytohormones, and agricultural productivity.

1. INTRODUÇÃO

O mundo anseia por sustentabilidade, tecnologia, aumento de produção, e otimização dos recursos disponíveis na agricultura. A *Global Food Security-Support Analysis data at 30 Meters (GFSAD30)*², informou que o mundo tem 1,87 bilhão de hectares de lavoura. Em busca de inovação, o aumento na utilização de extrato de alga vem aumentando cada vez mais. A utilização de bioestimulante e fertilizantes a base de alga vem crescendo anualmente. O mercado global de bioestimulantes, baseados em algas em 2.450 milhões de dólares em 2021 (Dunham-Trimmer 2022). Segundo da *European Biostimulants Industry Council –EBIC*, na América Latina, Brasil e Argentina lideram esse mercado.

Consideradas como plantas, as algas marinhas realizam fotossíntese e dentre outros processos metabólicos, são capazes de sintetizar substâncias orgânicas em suas estruturas não vascularizadas. Dentre as principais espécies de algas marinhas, utilizadas na agricultura podemos destacar: algas marrons (*Ascophyllum nodosum*, *Laminaria spp.*, *Macrocystis spp.*, etc.), vermelhas (*Kappaphycus alvarezii*, *Palmaria spp.*, *Gracilaria spp.*, etc.) e algas verdes (*Ulva spp.* e *Enteromorpha spp.*).

Os extratos de algas marinhas são fontes de vitaminas, glicoproteínas, aminoácidos e de estimulantes naturais, tais como auxina, giberelina, citocininas e betaínas. Portanto, essa junção de compostos quando utilizados, conferem efeitos positivos no estímulo de processos nutricionais da planta. Dentre esses processos, pode observar: eficiência na absorção de nutrientes, tolerância ao estresse abiótico e estabilização hormonal. O estresse hídrico e térmico são fatores que podem comprometer o desenvolvimento das plantas e reduzir o rendimento das culturas. O uso do bioestimulante à base de extrato de alga marinha ajuda a mitigar esses problemas, fornecendo nutrientes e compostos bioativos que contribuem para a resistência das plantas ao estresse.

A época de aplicação pode influenciar a resposta dos cultivos de diferentes maneiras. Como a escolha das dosagens de aplicação de extrato de algas é influenciada por vários fatores, incluindo a época de aplicação, espécie, cultivar, variedade, época do ano. Considerando todos esses fatores ao determinar as dosagens adequadas, para obter os melhores resultados nos cultivos. Uma vasta gama de efeitos benéficos é notada com a aplicação do extrato de algas, dentre essas aplicações, existem várias formas de fornecer o extrato, desde o T.S (em grãos), via gotejo e aplicação foliar em diversas culturas.

Partindo do pressuposto que a utilização de extrato de algas marinhas, aumenta na produtividade agrícola, melhorando o desempenho vegetal e influenciando principalmente o aumento de hormônios vegetais, nutrição vegetal e bioestimulação da planta. Com base no exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar e determinar por meio de uma revisão bibliográfica o uso de extrato de algas marinhas no aumento da produtividade agrícola em condições tropicais do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. USO E APLICAÇÃO DE EXTRATO DE ALGAS MARINHAS NO BRASIL E NO MUNDO

Um dos principais desafios enfrentados pela agricultura global é garantir a produção de alimentos em quantidade suficiente para atender às necessidades da população mundial nas próximas décadas (Maitra, 2022). De acordo com o Department of Economic and Social Affairs das Nações Unidas (2019), projeta-se que a população mundial alcance entre 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões até o ano de 2100.

O termo "bioinsumo" refere-se, de forma geral, a produtos originados de fontes biológicas. No entanto, sua definição não é única nem restrita, já que envolve uma ampla gama de aplicações e finalidades dentro dos sistemas produtivos (Dill, 2022).

Dentro da classificação dos bioinsumos, destacam-se as microalgas e macroalgas, que, conforme descrito por Ota (2021), são organismos fotossintetizantes, podendo ser unicelulares ou multicelulares, com a capacidade de converter energia solar em energia química. Esse processo resulta na geração de matéria orgânica, oxigênio e compostos com múltiplas aplicações. O uso dessas algas como bioinsumos tem demonstrado benefícios importantes para as plantas, como melhorias na nutrição, no metabolismo fisiológico e na produção de substâncias que auxiliam na tolerância a estresses abióticos (Meyer et al., 2021).

O emprego de bioestimulantes na agricultura tem se destacado pelo seu potencial de incrementar a produtividade das culturas e está se tornando uma prática cada vez mais comum nos sistemas agrícolas. Conforme Bourscheidt (2011), os bioestimulantes consistem em formulações compostas por biorreguladores, extratos de algas, aminoácidos e substâncias húmicas. Esses componentes atuam no equilíbrio hormonal das plantas, favorecendo a expressão do seu potencial genético e impulsionando seu crescimento e desenvolvimento.

Entre os tipos de bioestimulantes, as algas marinhas ocupam posição de destaque. Elas são divididas em três grupos principais: marrons, vermelhas e verdes. O uso agrícola dessas algas tem aumentado significativamente devido à presença de compostos bioativos com capacidade de influenciar positivamente a fisiologia das plantas, resultando em melhorias tanto na produtividade quanto na qualidade geral das culturas. A aplicação pode ser feita por meio do tratamento de sementes ou pulverização foliar (Dourado, 2004).

As algas marinhas, por sua vez, são organismos autotróficos, filamentosos, sem vasos condutores e podem ser uni ou pluricelulares. Um exemplo notável é a alga marrom *Ascophyllum nodosum* (Figura 1), amplamente distribuída no Atlântico Norte. Essa espécie é cultivada comercialmente na região costeira da Nova Escócia e tem sido utilizada na agricultura desde o século XIX em países como Canadá, França e Inglaterra, inicialmente como fonte de matéria orgânica aplicada diretamente ao solo (Kerin, 1998).

2.2. PRINCIPAIS ALGAS UTILIZADAS NA AGRICULTURA

Estima-se que existam aproximadamente um milhão de espécies de algas marinhas, distribuídas entre diferentes reinos como Bacteria, Plantae, Chromista e Protozoa. Essas algas são organismos autotróficos, filamentosos, avasculares, podendo ser uni ou multicelulares. Entre elas, a *Ascophyllum nodosum* se destaca por sua relevância na agricultura. Essa alga parda pertence ao reino Chromista, classe Phaeophyceae, família Fucaceae e ao gênero *Ascophyllum*, que atualmente reúne cerca de 18 espécies (Guiry et al., 2014).

No setor agrícola, estão disponíveis extratos de várias espécies de algas, incluindo *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria spp.*, *Ecklonia máxima*, *Sargassum spp.*, *Durvillaea spp.*, entre outras. A *Ascophyllum nodosum* é, no entanto, a mais estudada e amplamente empregada. Essa alga perene, típica das regiões costeiras do Atlântico Norte, cresce em águas cuja temperatura não ultrapassa 27 °C e tem sido usada como fertilizante em países como Canadá, França e Inglaterra (Costa, 2015).

Análises de sua composição indicam que entre 46% e 60% do peso seco da *Ascophyllum nodosum* é formado por carboidratos, incluindo fucosoidinas, laminarinas e alginatos, substâncias que podem atuar na sinalização de processos fisiológicos em plantas.

De acordo com Dapper (2014), as algas marrons são as mais utilizadas na agricultura, representando 44,7% do total – com destaque para a *Ascophyllum nodosum* – seguidas pelas algas verdes (36,2%, principalmente do gênero *Ulva*) e pelas vermelhas (29,8%), como mostrado na Figura 2.

Durante a obtenção desse composto, é gerada uma biomassa sólida com alto teor de polissacarídeos, que serve como base para a produção de carragenanas. Além disso, ocorre a formação de um extrato líquido, cujo potencial uso na agricultura vem sendo estudado (Eswaran, 2005).

2.3. CULTIVO DE ALGAS E CARACTERÍSTICAS

O cultivo de algas tem se destacado cada vez mais no cenário global. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2018, as algas marinhas cultivadas corresponderam a 97,1% do total de 32,4 milhões de toneladas de algas produzidas, somando tanto as colhidas quanto as cultivadas (FOOD SAFETY BRAZIL, 2022). Os principais produtores mundiais são China, Austrália e Indonésia, sendo a alimentação seu principal destino (Kholssi, 2022).

Com o aumento da exploração natural, os estoques de algas nos ambientes marinhos começaram a sofrer uma redução significativa. Como resposta, surgiram iniciativas de cultivo sustentável ao redor do mundo, com foco em espécies de maior valor comercial, boa aceitação pelo mercado e melhor rendimento produtivo.

Esse tipo de cultivo é praticado há décadas nos países orientais, onde as algas são tradicionalmente incorporadas à alimentação cotidiana. No entanto, foi apenas nos últimos 50 anos que estudos científicos começaram a fundamentar e expandir essa atividade, tanto no Oriente quanto em outras regiões do mundo (Chopin e Sawhney, 2009).

Um dos principais elementos para o êxito da maricultura é a seleção apropriada da área de cultivo. Quando a espécie de alga escolhida é nativa da região onde será realizada a maricultura, o cultivo tende a ser mais eficiente, pois a alga já está adaptada às condições ambientais locais. Caso essa compatibilidade não exista, é necessário considerar fatores como

salinidade da água, temperatura, movimentação da água e das algas, estabilidade do fundo marinho, diversidade de algas nativas e incidência de luz solar (McHugh, 2003).

Por esse motivo, tem crescido o número de pesquisas e iniciativas voltadas à implantação de cultivos com espécies nativas no Nordeste do Brasil, como *S. filiformis*, *H. musciformis* e *G. birdae*. Segundo a FAO, essa região apresenta diversas condições ambientais favoráveis à maricultura.

No caso da *S. filiformis*, experimentos utilizando as técnicas de long-line e esporulação natural vêm sendo desenvolvidos pelo Laboratório de Carboidratos e Lectinas (Carbolec), em parceria com a Associação dos Produtores de Algas de Flecheiras e Guajiru (APAFG). Os primeiros resultados indicam um crescimento diário da alga que pode chegar a 5,1%.

Portanto, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre a biologia das algas brasileiras com potencial para cultivo marinho, assim como sobre as técnicas adequadas de maricultura. Isso é fundamental para viabilizar a produção sustentável com espécies nativas e reduzir a pressão sobre os bancos naturais (Marinho, 2005).

2.4. BIORREGULADORES VEGETAIS

Bioestimulantes são compostos formados por uma ou mais substâncias, naturais ou sintéticas, aplicadas em pequenas doses. Eles podem ser utilizados diretamente em sementes, plantas ou no solo, promovendo modificações nos processos fisiológicos, morfológicos e estruturais das plantas. Essas alterações ocorrem por mecanismos similares à ação de hormônios vegetais, com o objetivo de melhorar o desenvolvimento, aumentar a produtividade e elevar a qualidade das culturas (Avila, 2008).

Embora o termo "bioestimulante de plantas" já seja utilizado há algum tempo, sua definição ainda é motivo de debates e ajustes. Esse conceito tem englobado uma variedade de substâncias, como extratos de algas, ácidos húmicos e fúlvicos, compostos extraídos de plantas, hidrolisados proteicos, aminoácidos, quitosana, outros biopolímeros e elementos inorgânicos como o fosfito e o silício. Mais recentemente, especialistas passaram a incluir também produtos que contêm microrganismos benéficos – como bactérias e fungos – tradicionalmente classificados como biofertilizantes (Du Jardin, 2020).

Nesse contexto, os bioestimulantes são definidos como produtos compostos por substâncias e/ou microrganismos que, ao serem aplicados diretamente nas plantas ou na rizosfera, ativam processos naturais capazes de melhorar a absorção e o uso de nutrientes,

aumentar a resistência a estresses abióticos e, conseqüentemente, promover maior qualidade e produtividade vegetal.

Reconhecendo a relevância desses produtos, a União Europeia formalizou, em 25 de junho de 2019, os bioestimulantes vegetais como uma categoria distinta dentro da legislação de fertilizantes, por meio do Regulamento (UE) 2019/1009. Segundo essa norma, os bioestimulantes são fertilizantes cuja função é potencializar os mecanismos nutricionais das plantas, independentemente da presença de nutrientes na formulação. O objetivo principal é promover uma ou mais das seguintes melhorias: a) aumento da eficiência na utilização de nutrientes; b) maior tolerância a condições adversas (estresses abióticos); c) elevação da qualidade vegetal; ou d) aumento da disponibilidade de nutrientes no solo ou na rizosfera.

Apesar de alguns bioestimulantes apresentarem efeitos positivos na resistência a pragas ou doenças, eles não têm ação direta sobre esses agentes bióticos. Ainda assim, sua aplicação pode contribuir para o fortalecimento das defesas naturais das plantas (Patel, 2020). A regulamentação europeia classifica esses produtos como mais próximos aos fertilizantes do que aos defensivos agrícolas, destacando seu papel complementar, com potencial para melhorar a eficiência dos fertilizantes e, ao mesmo tempo, reduzir sua quantidade de aplicação.

Estima-se que o setor de bioestimulantes agrícolas cresça a uma taxa média anual de 12,3%, podendo alcançar um valor de mercado global de aproximadamente 5,5 bilhões de dólares até 2027 (Carmody, 2020).

Entre os extratos de algas mais utilizados na formulação de bioestimulantes destaca-se *Ascophyllum nodosum* (L.), espécie cuja eficácia é amplamente documentada. Pesquisas demonstram que seus extratos podem aumentar a resistência das plantas à salinidade (Shukla, 2019), ao calor extremo (Carmody, 2020), à escassez hídrica (Leskovar, 2015), além de contribuir para maior rendimento e qualidade dos cultivos (Viencz, 2020). Há também registros de sua ação positiva na redução de doenças, como a diminuição da podridão cinzenta em ameixeiras e no fortalecimento das defesas do feijoeiro contra o oídio.

Além disso, é comum que bioestimulantes comerciais combinem diferentes substâncias e sejam indicados tanto para aplicação foliar quanto para uso no solo. Em muitos casos, essas misturas resultam em efeitos sinérgicos que otimizam os benefícios para as plantas (Sandepogu, 2019). As formulações podem ser apresentadas como extratos brutos ou em versões comerciais padronizadas.

2.5. NUTRIÇÃO VEGETAL

Os extratos provenientes de algas marinhas são ricos em substâncias que atuam como reguladores do crescimento vegetal, incluindo citocininas, auxinas, giberelinas e betaínas (Meyer, 2003), além de fornecerem nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, como cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P), bem como micronutrientes como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), manganês (Mn), cobalto (Co) e molibdênio (Mo) (Khan, 2009).

Esses extratos também apresentam compostos relacionados à resposta das plantas a situações de estresse, como betaínas e prolinas, além de hormônios reguladores como ácido abscísico, citocininas e auxinas. Isso sugere a possibilidade de que sua aplicação contribua para o melhor desempenho fisiológico das plantas sob condições adversas (Guiry, 2014).

Diversos estudos têm demonstrado que, mesmo em pequenas concentrações, bioestimulantes formulados a partir de algas são eficazes em promover o crescimento vegetal, elevando a quantidade de flores, frutos e raízes, além de melhorar a resistência a estresses ambientais (Battacharyya, 2015).

2.6. ROTA METABÓLICA HORMONAL

Embora ainda não se conheça completamente o mecanismo exato pelo qual os extratos de algas influenciam o desenvolvimento e o vigor das plantas, muitos dos efeitos observados têm sido atribuídos à diversidade de substâncias presentes nas espécies de algas utilizadas (Wally, 2013). Entre esses constituintes, já foram identificados macro e micronutrientes, substâncias semelhantes aos hormônios vegetais, betaínas, compostos fenólicos, entre outros (Khan, 2009). Curiosamente, mesmo na ausência de nutrientes, os extratos de algas continuam demonstrando eficácia na promoção do crescimento vegetal.

Esses compostos atuam estimulando a divisão celular e a síntese de proteínas, efeitos relacionados à presença de fitormônios como citocininas, auxinas e giberelinas. Além disso, por conterem antioxidantes, ajudam a preservar a integridade das membranas celulares, protegendo-as contra toxinas produzidas tanto em processos metabólicos normais quanto em resposta a estresses ambientais. Também fortalecem os mecanismos naturais de defesa da planta, elevando sua resistência a pragas e doenças (Agritec, 2009).

Apesar de já se conhecerem os efeitos de algumas dessas substâncias, muitos compostos presentes nos extratos de algas ainda não foram completamente identificados.

Acredita-se que a combinação e interação entre esses diferentes componentes seja o principal fator responsável pelos benefícios observados nas plantas (Wally, 2013).

Adicionalmente, destaca-se o potencial de outras macroalgas, especialmente considerando a sustentabilidade do cultivo e a presença de moléculas com atividade biológica. Um exemplo notável é a alga vermelha *Kappaphycus alvarezii*, originária das Filipinas, amplamente utilizada como fonte de ficocolóides e reconhecida por sua fácil propagação (Khambhaty, 2012).

2.6.1. Hormônios vegetais

O extrato da alga *Ascophyllum nodosum* apresenta uma variedade de compostos naturais com atividade biológica, entre os quais se destacam os análogos de hormônios vegetais como auxinas, citocininas, giberelinas e ácido abscísico. Pesquisas também revelaram a presença de outros componentes relevantes, incluindo polifenóis, betaínas, polissacarídeos, ácidos graxos, esteroides, poliaminas e uma diversidade de macro e micronutrientes, que juntos constituem os princípios ativos do extrato (Sangha, 2010).

A existência de diferentes tipos de auxinas nesses extratos foi confirmada por análises por cromatografia gasosa associada à espectrometria de massas (Moore, 1982). A multiplicidade de respostas fisiológicas observadas em diferentes estudos reforça a hipótese de que o efeito benéfico dos extratos de algas está intimamente ligado à presença desses reguladores vegetais em sua composição (Sharma, 2014).

Trabalhos mais recentes vêm destacando não apenas a presença, mas também o papel regulador de hormônios vegetais e seus análogos em várias espécies de algas. Além das auxinas, citocininas, giberelinas e ácido abscísico (ABA), também têm sido identificados ácidos jasmônicos, etileno, brassinosteróides, bem como compostos como betaínas e poliaminas (Stirk, 2014).

As citocininas, por exemplo, exercem diversas funções fisiológicas nas plantas, como a indução da divisão celular, estímulo à morfogênese (formação de brotações e parte aérea), crescimento de gemas laterais, expansão foliar mediante aumento do volume celular, maior abertura estomática em certas espécies, além de favorecer a conversão de etioplastos em cloroplastos por meio do estímulo à produção de clorofila. Ressalta-se, contudo, que esses efeitos podem variar conforme a espécie vegetal e o tipo de citocinina utilizada (Davies, 2010).

No que diz respeito às giberelinas, também já se comprovou sua ocorrência em extratos de algas. Estudos conduzidos por Stirk (2013) identificaram entre 18 e 24 diferentes tipos de giberelinas em amostras de 24 espécies de microalgas e na alga *Ecklonia maxima*, por meio de técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de extratos de algas na agricultura tem ganhado destaque crescente devido aos seus múltiplos efeitos benéficos sobre o desempenho das culturas. Entre os principais benefícios observados estão o aumento da tolerância a estresses abióticos, como variações térmicas, salinidade, déficit hídrico e radiação excessiva, bem como a estresses bióticos, como o ataque de patógenos, especialmente doenças de origem fúngica. Além disso, esses bioestimulantes contribuem significativamente para a melhoria na eficiência da absorção e no transporte de macro e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, ferro, zinco e manganês, promovendo um melhor equilíbrio nutricional nas plantas.

A composição rica em substâncias biologicamente ativas, como fitormônios (auxinas, citocininas, giberelinas), vitaminas, polissacarídeos e antioxidante, confere aos extratos de algas marinhas a capacidade de atuar em múltiplas vias fisiológicas das plantas, estimulando processos como a divisão e o alongamento celular, a expansão radicular, a fotossíntese e a produção de metabólitos secundários. Essas melhorias, por sua vez, favorecem o crescimento vegetativo, a formação reprodutiva e o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos. Além dos efeitos diretos nas plantas, a aplicação desses extratos também se alinha às práticas agrícolas sustentáveis, uma vez que promove a redução do uso de insumos químicos tradicionais, como fertilizantes sintéticos e pesticidas, contribuindo para a conservação ambiental e para a saúde do solo.

Tais características tornam os bioestimulantes à base de algas uma ferramenta estratégica para a agricultura moderna, sobretudo em cenários de mudança climática e crescente demanda por produção eficiente e ambientalmente responsável. Dessa forma, os extratos de algas marinhas se consolidam como uma alternativa promissora e sustentável no manejo agrícola, oferecendo suporte à resiliência das culturas e ao incremento da produção, ao mesmo tempo em que promovem práticas mais ecológicas e alinhadas às exigências do mercado atual.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, J. H. S.; Veimar, A. S.; Michelle, C. S.; Veloso, T. R. R. G.; Santos, V. F. A.; Souza, J. N.; Carneiro, J. L. S.; Correia, V. M. F. D.; Silva, J. A.; Guedes, A. O. S.; Salviano, A. L.; Paloma, M. S. L. 2023. Uso de bioestimulante na cultura do milho (*Zea mays* L.). Scientific Electronic Archives, v.16, p.7-14. Disponível em: <Uso de bioestimulantes na cultura do milho (*Zea mays* L.): uma revisão | Scientific Electronic Archives (ufr.edu.br)>. Acesso em: 19 de novembro de 2024.
- Bettini, M. O. 2015. Aplicação de extratos de algas marinhas em cafeeiro sob deficiência hídrica e estresse salino. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo, Brasil. Disponível em: <SBICafé - Aplicação de extratos de algas marinhas em cafeeiro sob deficiência hídrica e estresse salino>. Acesso em: 10 de janeiro de 2025.
- Cunha, P. O. 2022. Potencial agronômico do uso de extrato de algas marinhas via tratamento de semente na cultura da soja. Instituto Federal Goiano. Morrinhos, Goiás, Brasil. Disponível em: <Repositório Institucional do Instituto Federal Goiano: POTENCIAL AGRONÔMICO DO USO DE EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS VIA TRATAMENTO DE SEMENTES NA CULTURA DA SOJA>. Acesso em: 06 de janeiro de 2025.
- Dapper, T. B.; Pujarra, S.; Oliveira, A. J.; Garrido, F. O.; Paulert, R. 2014. Potencialidades das macroalgas marinhas na agricultura. Revista em agronegócio e meio ambiente, v.7, p. 295-313. Disponível em: <POTENCIALIDADES DAS MACROALGAS MARINHAS NA - ProQuest>. Acesso em: 03 de janeiro de 2025.
- Durand, N.; Briand, X.; Meyer, C. O efeito de substâncias bioativas marinhas (NPRO) e de citocininas exógenas na atividade da redutase do nitrato em *Arabidopsis thaliana*. Physiologia Plantarum, v. 119, p. 489-493, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1399-3054.2003.00207.x>. Acesso em: 12 de junho de 2024.
- Embrapa. Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil>. Acesso em: 26 de dezembro de 2024.
- Ferrazza, D.; Mourão, A. P. M.; Simonetti. 2010. Uso de extrato de algas no tratamento de sementes e aplicação foliar, na cultura da soja. Cultivando o saber, v.3, p. 48-57. Disponível em: <Uso de extrato de algas no tratamento de semente e aplicação foliar, na cultura da soja | Sumários.org>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.
- Food Safety Brazil. Algas marinhas: implicações de segurança dos alimentos segundo a FAO. 2022. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/algas-marinhas-implicacoes-de-seguranca-dos-alimentos-segundo-a-fao/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.
- Maitra, S. Bioinoculantes: Recursos biológicos naturais para a produção vegetal sustentável. Microorganisms, v. 10, n. 1, p. 51, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/1/51>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

- Marocco, E. C. 2021. Aplicação foliar de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* e magnésio na resposta fisiológica de plantas cítricas ao estresse térmico. Instituto Agronômico. Campinas, São Paulo, Brasil. Disponível em: <Repositório de dissertações e teses da PGIAC>. Acesso em: 06 de janeiro de 2025.
- Meyer, F. R. Foliar spraying of a seaweed-based biostimulant in soybean. Revista Caatinga, v. 34, n. 1, p. 99-107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n111rc>. Acesso: 16 de junho de 2024.
- Miranda, L. M. Sobre história, sustentabilidade e crise energética. Revista Brasileira de História, v. 43, n. 92, p. 15-28, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbh/a/jyPGVj8MZycHSjfY4XTBMcb/>. Acesso em: 19 de maio de 2024.
- Moreira, M.; Sillmann, T. A.; Leonir, A. S. 2024. Uso do extrato de algas como potencializador da eficiência do cultivo de grãos. Revista foco, v.17, p. 01-23.
- Peres, H.A.; Gomes, F. M. P. 2019. Uso de extrato de algas e aminoácidos na agricultura brasileira. Instituto de Ciência da Saúde, Agrárias e Humanas. Araxá, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: <https://site.uniaraxa.edu.br/wpcontent/uploads/2019/06/circular-extrato-de-algas.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.
- Rochelli, N. S. L. 2019. Aplicação de extrato de algas marinhas em sistemas de produção de girassol irrigado com água salina. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/41531>. Acesso em: 03 de janeiro de 2025.
- Rodrigues, M. A.; Correia, C. M.; Arrobas, M. Uso de algas marinhas na agricultura do interior do norte de Portugal. Revista Voz do Campo, n° 244, p. 4. Disponível em: <Utilização de algas marinhas na agricultura do interior norte de Portugal>. Acesso em: 04 de janeiro de 2025.
- Saccomori, N. L. 2021. Bioestimulante à base de extrato de algas marinhas na agricultura: estado da arte e potencial de uso. Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. Disponível em: <Bioestimulantes à base de extrato de algas marinhas na agricultura: estado da arte e potencial de uso>. Acesso em: 03 de janeiro de 2025.
- Santos, A. B. 2020. O uso de extrato de algas *Ascophyllum nodosum* na agricultura. Instituição Faculdade Pitágoras. Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/Krot_909dede9e4a53c6fc39e5ab558731bf8. Acesso em: 10 de janeiro de 2025.
- Santos, N. H. S. Efeito do extrato de algas no desempenho germinativo e crescimento radicular em sementes de feijão BRS Estilo em resposta a diferentes métodos de aplicação. Hoehnea, v. 48, p. 1-6, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/txxGV4npNXzMVx9CwwcMbyH/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

Tímbola, F.; Morais, A. P. M. S.; Weber D. A.; Weber, T. 2020. Uso de extrato de algas em aplicações foliares no trigo. *Cultivando o saber*, v. 13, p. 117-123. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1025>. Acesso em: 20 de dezembro de 2024.

Toledo, T. E. 2019. Uso de extratos de alga na agricultura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/206859/001112621.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

CAPÍTULO XVII

APLICAÇÃO DE ANÁLISE ENERGÉTICA EM UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO TÉRMICO DE BATERIAS DE ÍON LÍTIO EM UM VEÍCULO HÍBRIDO

APPLICATION OF ENERGY ANALYSIS IN A THERMAL MANAGEMENT SYSTEM FOR LITHIUM-ION BATTERIES IN A HYBRID VEHICLE

DOI: 10.51859/ampla.asc6140-17

Matheus Basilio Tarelho¹
Rubens Zenko Sakiyama²
Gustavo Vendrame Barbara³

¹ Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Professor Substituto do Eixo de Controle e Processos Industriais, Instituto Federal do Paraná – IFPR – Campus Paranavaí.

² Doutor em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM. Professor Adjunto do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Maringá - UEM

³ Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Cornélio Procópio. Professor Efetivo do Eixo de Controle e Processos Industriais, Instituto Federal do Paraná – IFPR – Campus Paranavaí.

RESUMO

Com o crescente interesse por veículos híbridos e elétricos surgem novos desafios. Muitos destes desafios estão relacionados as baterias, sendo estas responsáveis pela propulsão deste tipo de veículo. Atualmente baterias de íon lítio são as mais utilizadas em veículos híbridos e elétricos. O comportamento destas baterias tem íntima relação com a sua temperatura de operação. Para otimizar o seu funcionamento são utilizados sistemas de gerenciamento térmico (TMS) das mais diversas arquiteturas. O presente trabalho tem por objetivo realizar a análise energética de um TMS aplicado à um veículo híbrido. A análise parte de parâmetros extraídos por Hamut (2012) com algumas adaptações. Com base nos parâmetros iniciais, equações de balanço de massa e energia, equações auxiliares e com uso do software EES foi possível realizar a análise energética do ciclo, obtendo os valores de temperatura, pressão, entalpia, entropia e título em cada um dos estados do ciclo termodinâmico. Foram obtidos também os fluxos de energia na forma de calor ou trabalho nos componentes do sistema, a saber: compressor, evaporador, condensador, trocador de calor, válvulas de expansão, bomba e bateria. Com os dados obtidos foi construída uma tabela contendo as propriedades em cada ponto e também dois diagramas $T - s$ do ciclo, um considerando o fluxo que passa pelo evaporador e outro o fluxo que perpassa o trocador de calor.

Palavras-chave: Sistema de gerenciamento térmico. Veículo híbrido. Ciclo termodinâmico. Balanço de energia. Bateria.

ABSTRACT

With the growing interest in hybrid and electric vehicles, new challenges are emerging. Many of these challenges are related to batteries, which are responsible for propelling this type of vehicle. Currently, lithium-ion batteries are the most widely used in hybrid and electric vehicles. The behavior of these batteries is closely related to their operating temperature. To optimize their operation, thermal management systems (TMS) with a wide variety of architectures are used. The present work aims to carry out the energy analysis of a TMS applied to a hybrid vehicle. The analysis is based on parameters extracted by Hamut (2012) with some adaptations. Based on the initial parameters, mass and energy balance equations, auxiliary equations, and the use of the EES software, it was possible to perform the energy analysis of the cycle, obtaining the values of temperature, pressure, enthalpy, entropy, and quality at each state of the thermodynamic cycle. Energy flows in the form of heat or work were also obtained in the system components, namely: compressor, evaporator, condenser, heat exchanger, expansion valves, pump, and battery. With the obtained data, a table containing the properties at each point was constructed, as well as two $T-s$ diagrams of the cycle: one considering the flow that passes through the evaporator and the other considering the flow that passes through the heat exchanger.

Keywords: Thermal management system. Hybrid Vehicle. Thermodynamic cycle. Energy balance. Battery.

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse por veículos híbridos (VHs) e elétricos (VEs) nos últimos anos está relacionado à algumas vantagens apresentadas estes veículos, dentre elas: ausência de emissão de poluentes, a economia em relação aos combustíveis tradicionais, menor emissão de ruídos, baixo custo de manutenção, incentivo fiscal na compra e no uso (CINTRA *et al*, 2025; KIM e PESARAN, 2006). No entanto, veículos elétricos e híbridos apresentam alguns problemas em relação a autonomia e segurança, estes problemas vêm sendo mitigados pelo desenvolvimento de tecnologias relacionadas as baterias que alimentam os veículos. (CINTRA *et al*, 2025; KIM e PESARAN, 2006; Paixão e Abaide, 2025).

Atualmente baterias de íon lítio são as mais utilizadas na propulsão de VHs e VEs, superando modelos como chumbo-ácido, níquel cádmio e de sódio. As baterias de íon lítio apresentam alta densidade de potência e de energia, isto é, possuem a capacidade fornecer uma grande quantidade de energia em um breve período de tempo e conseguem armazenar grandes quantidades de energia em pouco espaço físico. Tais características estão relacionadas as propriedades do lítio, sendo um elemento químico leve e altamente reativo (YOSHIO *et al*, 2009).

O desempenho das baterias de íon lítio tem forte relação com a temperatura de operação, portanto, garantir que estas trabalhem na temperatura adequada é fundamental. Além disso, o funcionamento das baterias de íon lítio em condições adequadas no decorrer dos anos garante maior durabilidade (CINTRA *et al*, 2025). De maneira geral, baterias de íon lítio não devem operar em temperaturas abaixo de -20°C , temperaturas muito baixas causam redução significativa da condutividade elétrica devido ao congelamento dos eletrólitos. Por outro lado, baterias de íon lítio não devem operar em temperaturas superiores a 45°C , temperaturas a partir desse valor causam diversos problemas, como por exemplo, corrosão do eletrólito (HAMUT, 2012).

Para manter baterias operando na faixa de valores adequados, são usados em VHs e VEs sistemas de gerenciamento térmico (TMS). Sistemas de gerenciamento térmico podem ser classificados como passivos, onde o ar ambiente é utilizado como forma de arrefecimento, sem consumo de energia, ou ativos, onde energia é consumida para o controle de temperatura das baterias. TMSs ativos frequentemente utilizam fluidos alternativos que não

sejam o ar e ciclos termodinâmicos, com componentes como compressores, evaporadores, trocadores de calor, entre outros (HAMUT, 2012; KIM e PESARAN, 2006).

Uma forma alternativa de analisar e classificar TMSs é de acordo com suas eficiências. A consideração das eficiências de um TMS é importante devido a fatores como limite de energia disponível, custo, impacto ambientais, etc. Através das equações de balanço de energia, pode-se averiguar a eficiência energética de um sistema termodinâmico (HAMUT, 2012; OZKAYMAK *et al*, 2008). A análise de energia de um TMS também pode contribuir para possíveis melhorias futuras.

Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise energética de um sistema de gerenciamento térmico aplicado em baterias de íon lítio de em veículo híbrido operando em condições de temperatura ambiente elevada. Os resultados foram obtidos a partir de equações clássicas da termodinâmica e simulações a partir do *software* EES.

2. METODOLOGIA

2.1. SISTEMA DE GERENCIAMENTO TÉRMICO (TMS)

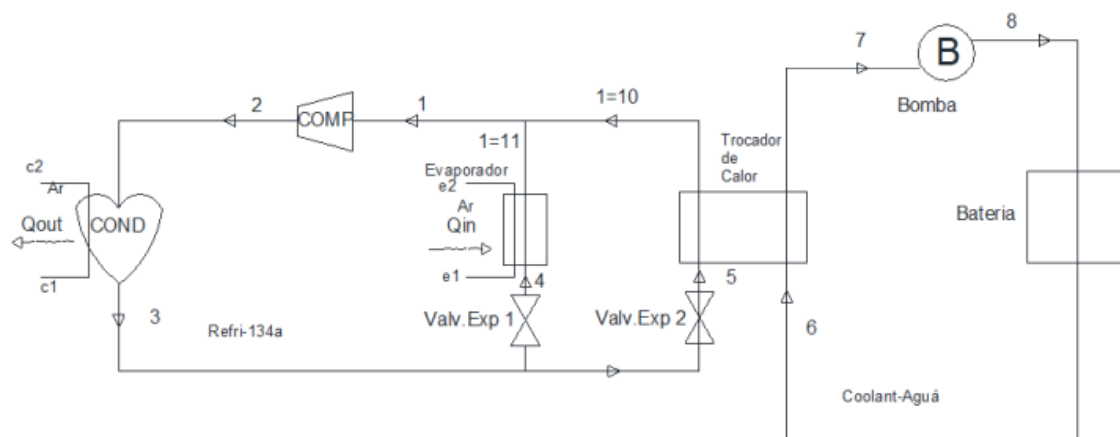
A presente pesquisa utilizou como base um modelo de sistema de gerenciamento térmico simplificado do veículo híbrido Chevrolet Volt Gen.1 O pacote de baterias considerando foi presente neste modelo, com 288 células prismáticas de íon lítio espinélios de manganês ($LiMn_2O_4$), o carregamento desta bateria pode ser feito em tomadas domésticas, com tempo de recarga de 8 horas em rede de 110 V e de 4 horas em rede de 220V (HAMUT, 2012).

O sistema de arrefecimento é composto por dois ciclos: o ciclo de arrefecimento da bateria e ciclo de refrigeração. O ciclo de arrefecimento da bateria está em contato direto com a bateria e possui água como fluido de trabalho, o ciclo de refrigeração é conectado ao ciclo de arrefecimento através de um trocador de calor e utiliza o refrigerante R134a como fluido de trabalho. A tubulação do refrigerante não entra em contato direto com a bateria, pois em caso de vazamento podem ocorrer graves danos (HAMUT, 2012).

A Figura 1 apresenta um modelo simplificado do TMS de um carro híbrido, contendo apenas circuitos relacionados ao resfriamento da bateria, excluindo circuitos de potência e controle. Com base na Figura 1 serão descritos os funcionamentos dos ciclos utilizados no TMS das baterias de íon lítio do VH.

No ciclo de resfriamento da bateria, a água no estado 8 passa pela bateria absorvendo calor liberado, aumentando a temperatura do líquido até o estado 6, seguindo até o trocador de calor, liberando calor para o refrigerante à pressão constante até atingir o estado 7. O líquido retorna ao estado 8 após passagem por uma bomba, que aumenta a pressão da água, facilitando a troca de calor com a bateria, reiniciando o ciclo (HAMUT, 2012).

Figura 1 – Sistema de gerenciamento simplificado contendo o ciclo de arrefecimento da bateria e o ciclo refrigerante.



Fonte: Autoria própria.

No ciclo de refrigeração, o refrigerante recebe calor da água de resfriamento da bateria através do trocador de calor, saindo do estado 5 e chegando até o estado 10. O refrigerante mantém a sua temperatura constante, o calor absorvido durante a troca com a água é utilizado na evaporação de parte do refrigerante que chega no trocador, alterando o título do refrigerante.

O refrigerante que sai do trocador de calor se junta ao refrigerante que deixa o evaporador, como vapor saturado no estado 11, ocorre uma agregação dos fluxos, formando um novo estado líquido + vapor, o estado 1. O refrigerante atinge o estado 2 após sofrer um aumento de pressão no compressor, aumentando também a sua temperatura, chegando ao estado de vapor superaquecido, o que facilita a sua condensação no condensador, onde libera calor para o ambiente que está a uma temperatura menor do que a do refrigerante, chegando ao estado 3. Neste estudo foi considerado um condensador ideal, com pressão e temperatura constantes, ou seja, toda energia liberada é convertida na condensação do vapor superaquecido até líquido saturado (VERMA *et al*, 2013)

A partir deste ponto o fluido é dividido em dois fluxos, parte segue para o evaporador e parte segue para o trocador de calor com o ciclo de resfriamento da bateria. Antes de chegar no evaporador, o refrigerante passa por uma válvula de expansão, onde parte do líquido evapora imediatamente devido ao aumento abrupto de volume e consequente queda de pressão, levando o fluido até o estado 4, à uma temperatura menor do que do estado 3. Após passar pela válvula de expansão 1, parte do fluxo chega ao evaporador em baixa temperatura, onde recebe calor do ar ambiente, este calor é utilizado para transformar o refrigerante que anteriormente estava em estado de mistura líquido + vapor em vapor saturado, no estado 11.

A outra parte do fluxo que sai do condensador chega até a válvula de expansão 2, onde ocorre processo semelhante ao da válvula de pressão 1, com expansão do fluido e queda de temperatura, de forma que o fluido chega ao estado 5 em uma mistura líquido + vapor antes de adentrar o trocador de calor. Após a queda de temperatura ao fluido está a uma temperatura abaixo da temperatura da água no trocador de calor, recebendo então o calor liberado pelo ciclo de arrefecimento da bateria e chegando no estado 10.

Os fluxos que saem do evaporador e trocador de calor então se unem, formando o estado 1. O estado 1 é formado a partir do estado 10, onde o fluido está em uma mistura líquido + vapor, e do estado 11, onde o refrigerante está no estado de vapor saturado, portanto o estado 1 é uma mistura líquido + vapor. O evaporador faz com que o fluido chegue no condensador em um estado mais próximo da saturação, diminuindo a energia necessária para a compressão e aumentando a segurança do componente.

2.2. EQUACIONAMENTO

O desenvolvimento desta pesquisa deve como base o equacionamento clássico de balanços de massa e de energia, considerando as variações de certas propriedades dentro de um volume de controle. Os balanços são aplicados considerando a variação de uma certa propriedade em um tempo inicial t até um instante final $t + \Delta t$, considerando as quantidades de propriedade que adentram ou deixam um determinado volume de controle. O volume de controle pode ser escolhido de forma a facilitar o estudo, sendo um componente de um sistema, parte deste componente ou o sistema como um todo.

2.2.1. Balanço de massa

O balanço de massa ocorre a partir das trocas de materiais com a vizinhança do sistema, o balanço de massa aplicado a um volume de controle é dado pela equação 1:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e + \sum_s \dot{m}_s \quad (1)$$

Onde $\frac{dm_{vc}}{dt}$ pode ser definido como taxa temporal da variação de massa contida no interior do volume de controle no instante t . \dot{m}_e representa as vazões mássicas instantâneas de entrada e \dot{m}_s as vazões mássicas instantâneas de saída. O somatório é aplicado pois em um volume de controle pode haver mais de uma entrada e mais de uma saída (MORAN *et al*, 2011; MAZZUCCO, 2013).

A presente pesquisa utiliza regime permanente, ou seja, não há variação de massa no interior do volume de controle, portanto: $\frac{dm_{vc}}{dt} = 0$, portanto a equação 1 pode ser reescrita conforme a equação 2:

$$\sum_e \dot{m}_e = \sum_s \dot{m}_s \quad (2)$$

2.2.2. Balanço de energia

No balanço de energia são consideradas as quantidades de energia que entram e deixam o sistema, a taxa de variação de energia e a energia transferida do ou para o sistema devido as trocas de massa. A variação da massa pode implicar em três formas diferentes de energia: energia cinética, energia potencial e entalpia. De forma geral, o balanço de energia de um sistema é dado pela equação 3:

$$\frac{d(U + E_c + E_p)}{dt} = Q - W + \sum_e (H_e + E_{ce} + E_{pe})\dot{m}_e - \sum_s (H_s + E_{cs} + E_{ps})\dot{m}_s \quad (3)$$

Onde U é a energia interna do sistema, E_c é a energia cinética, E_p é a energia potencial e H a entalpia. Q é a taxa de transferência de energia na forma de calor e W é a taxa de transferência de energia através do trabalho. A equação 3 pode ser reescrita na forma da equação 4:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = Q - W + \sum_e \dot{m}_e \left(u_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(u_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (4)$$

Desta forma, os termos envolvendo as taxas de massa são abertos, com V sendo a velocidade do fluxo, u a energia interna em termos de massa, g a aceleração da gravidade e z a altura em relação ao referencial. E_{vc} é a energia interna do volume de controle no instante t (MORAN *et al*, 2011; MAZZUCCO, 2013).

Em regime permanente não há variação da energia dentro do volume de controle com o tempo, $\frac{dE_{vc}}{dt} = 0$. Os valores da altura z podem ser desconsiderados para os efeitos de calcula do TMS, considerando que não representam grandes variações. Os valores de velocidade também podem ser desconsiderados, já que a variação é mínima. Aplicando todas a simplificações chega-se na equação 5:

$$0 = Q_{vc} - W_{vc} + \sum_e \dot{m}_e h_e - \sum_s \dot{m}_s h_s \quad (5)$$

Onde h é a entalpia específica.

2.3. SOFTWARE E MÉTODO DE SIMULAÇÃO

O software *Engineering equation solver* (EES) foi utilizado para as análises deste trabalho, a partir dos parâmetros conhecidos e dos balanços de energia e massa, o software é capaz de encontrar as propriedades faltantes e os resultados dos balanços utilizando ferramentas como a função de propriedades de fluxo, entre outras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros utilizados para o ciclo do TMS foram tomados com base em Hamut (2012), considerando algumas adaptações a partir de algumas diferenças de considerações e de objetivo de pesquisa. A temperatura ambiente considerada foi de $T_{amb} = 35^\circ C$ e a pressão de $p = 1 atm$. A eficiência isentrópica do compressor e da bomba foram adotadas como a mesma $n_c = n_b = 0,81$. A taxa de transferência de calor no evaporador para dentro do sistema foi definida como $\dot{Q}_{in} = 5kW$, a taxa de transferência de calor da bateria para o líquido refrigerante é de $\dot{Q}_B = 0,35 k$, considerando a média de $1,22 kW$ por célula para as 288 células que compõem o pacote de baterias do veículo. A vazão mássica do refrigerante é de $\dot{m}_{H20} = 5kg/min$, ou aproximadamente $\dot{m}_{H20} = 0,0833 kg/s$.

A partir dos parâmetros obtidos com base na pesquisa de Hamut e a partir de adaptações, foi construída a Tabela 1, contendo os dados de temperatura, pressão, entalpia, entropia e título já conhecidos. Os pontos identificados na Tabela são os mesmos 11 pontos do ciclo da Figura 1. Conhecendo-se duas propriedades de cada um dos pontos é possível obter as propriedades faltantes através das equações de balanço de massa, equação 2, de balanço de energia, equação 5, e de ferramentas do EES. A tabela 2 indica o balanço de massa e energia para cada um dos componentes do sistema.

Tabela 1 – Parâmetros iniciais de cada ponto do ciclo de TMS.

| Ponto | Temperatura -T (°C) | Pressão – p (kPa) | Entalpia -h (kJ/kg) | Entropia - s (kJ/kgK) | Título - x |
|-------|------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------|
| 1 | | = p4 | 250 | | |
| 2 | 55 | | | $s_{2s} = s_1$ | |
| 3 | 55 | | | | 0 |
| 4 | 5 | | = h_3 | | |
| 5 | | = p1 | = h_3 | | |
| 6 | 22 | | $h_8 + (Q_B/\dot{m}_{H2O})$ | | |
| 7 | 18 | = p6 | | | |
| 8 | 19 | 10000 | | | |
| 10 | | = p4 | $h_5 + (Q_{Tcr}/\dot{m}_{r3})$ | | |
| 11 | | = p4 | | | 1 |

Fonte: Autoria própria.

São utilizadas também algumas equações auxiliares, principalmente as equações de eficiência isentrópica, tornando possível relacionar o fluxo de trabalho ideal (\dot{W}_{Cs}) e o fluxo de trabalho real (\dot{W}_C), para o compressor tem-se a equação 6:

$$n_c = \frac{\left(\frac{\dot{W}_{Cs}}{\dot{m}}\right)}{\left(\frac{\dot{W}_C}{\dot{m}}\right)} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

Para a bomba a eficiência isentrópica é dada pela equação 7:

$$n_b = \frac{\left(\frac{\dot{W}_{bs}}{\dot{m}}\right)}{\left(\frac{\dot{W}_b}{\dot{m}}\right)} = \frac{h_{8s} - h_7}{h_8 - h_7} \quad (7)$$

Onde \dot{W}_{bs} é o fluxo de trabalho ideal da bomba e \dot{W}_b é o fluxo de trabalho real na bomba. As equações 6 e 7 permitem encontrar a entalpia faltante através da eficiência isentrópica dos componentes, já conhecida, e das outras duas entalpias.

Tabela 2 – Equações de balanço de massa e energia para cada componente do sistema

| Componente | Balanço de massa | Balanço de energia |
|-----------------------|--|---|
| Compressor | $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r$ | $\dot{W}_c = \dot{m}_r(h_2 - h_1)$ |
| Condensador | $\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_r$ | $\dot{Q}_{outc} = \dot{m}_r(h_3 - h_2)$ |
| Evaporador | $\dot{m}_4 = \dot{m}_{11} = \dot{m}_{r2}$ | $\dot{Q}_{ine} = \dot{m}_{r2}(h_3 - h_2)$ |
| Válvula de Expansão 1 | $(2/3) * \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{r2}$ | $h_3 = h_4$ |
| Válvula de Expansão 2 | $(1/3) * \dot{m}_3 = \dot{m}_5 = \dot{m}_{r3}$ | $h_3 = h_5$ |
| Trocador de Calor | $\dot{m}_5 = \dot{m}_{10} = \dot{m}_{r3}$ e $\dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_{H2O}$ | $\dot{m}_{r3}(h_5 - h_{10}) = \dot{m}_{H2O}(h_7 - h_6)$ |
| Bomba | $\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_{H2O}$ | $\dot{W}_b = \dot{m}_{H2O}(h_8 - h_7)$ |
| Bateria | $\dot{m}_8 = \dot{m}_6 = \dot{m}_{H2O}$ | $\dot{Q}_B = \dot{m}_{H2O}(h_6 - h_8)$ |

Fonte: Autoria própria.

Utilizando os dados da Tabela 1 e as equações da Tabela 2, em conjunto com as equações 6 e 7 e o software EES, foi possível preencher os dados faltantes da tabela 1, obtendo-se a Tabela 3.

O termo V.S na Tabela 3 representa vapor superaquecido e L.C líquido comprimido.

A partir dos valores de temperatura e entropia, foram construídos diagramas $T - s$ do refrigerante utilizando a ferramenta de plotagem do EES. Os diagramas estão representados nas Figuras 2 e 3. Os diagramas $T - s$ facilitam a compreensão de funcionamento do ciclo, indicando o comportamento da temperatura e entropia, verificável também pela Tabela 3.

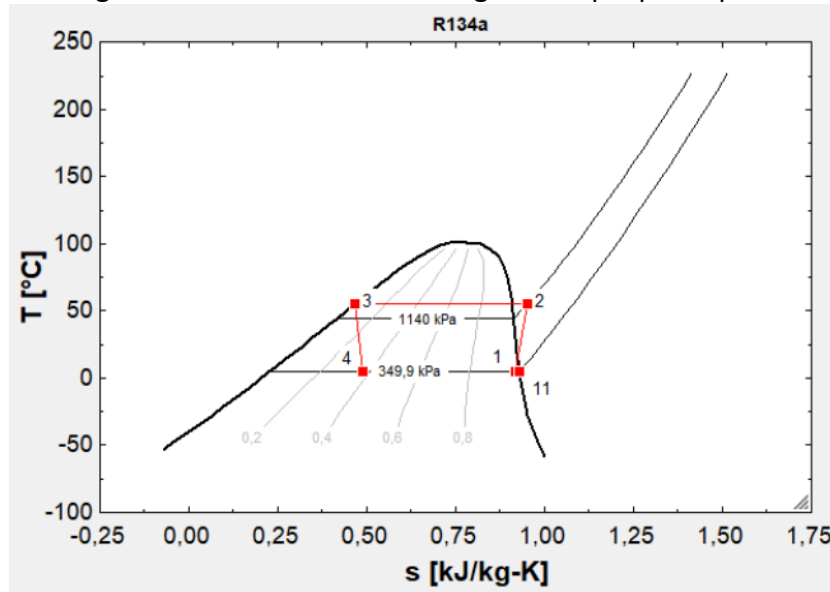
Tabela 3 – Parâmetros iniciais de cada ponto do ciclo de TMS.

| Ponto | Temperatura -T (°C) | Pressão – p (kPa) | Entalpia -h (kJ/kg) | Entropia - s (kJ/kgK) | Título - x |
|-------|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|------------|
| 1 | 5 | 349,9 | 250 | 0,9168 | 0,9826 |
| 2 | 55 | 1140 | 285,3 | 0,9518 | V.S |
| 3 | 55 | 1140 | 131,3 | 0,4655 | 0 |
| 4 | 5 | 349,9 | 131,3 | 0,4655 | 0,3735 |
| 5 | 5 | 349,9 | 131,3 | 0,4902 | 0,3735 |
| 6 | 22 | 2,645 | 93,24 | 0,3282 | 0,00425 |
| 7 | 18 | 2,645 | 75,47 | 0,2676 | L.C |
| 8 | 19 | 10000 | 89,04 | 0,2799 | L.C |
| 10 | 5 | 349,9 | 203,7 | 0,7502 | 0,7447 |
| 11 | 5 | 349,9 | 253,4 | 0,929 | 1 |

Fonte: Autoria própria.

Nas Figuras 2 e 3 estão representados cada um dos pontos do ciclo indicados por pontos quadrados vermelhos. As linhas pretas espessas delimitam o estado do fluido. O título é indicado pelas curvas claras no diagrama. As pressões nos pontos também podem ser identificadas graficamente.

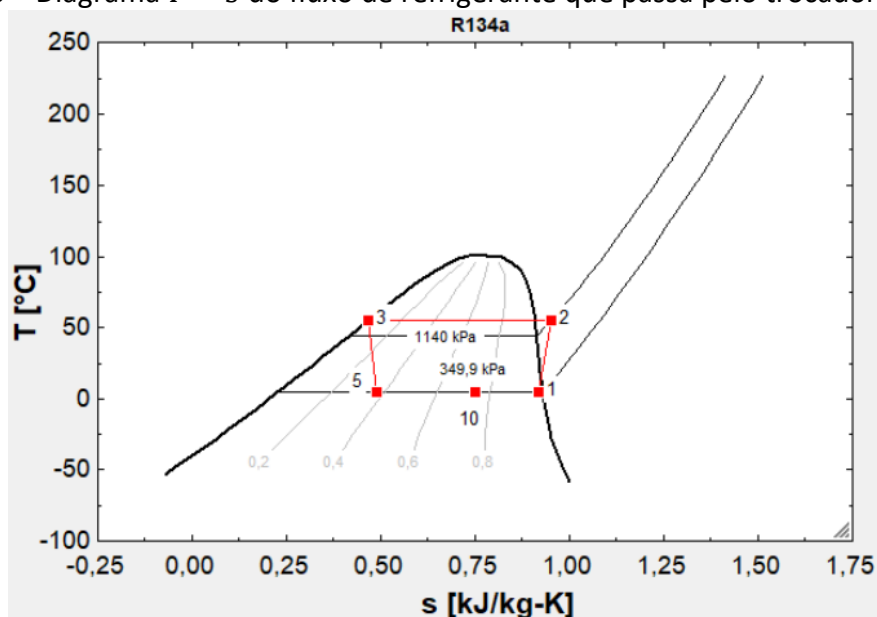
Figura 2 – Diagrama $T - s$ do fluxo de refrigerante que passa pelo evaporador



Fonte: Autoria própria.

Foram obtidos os valores dos fluxos de troca de energia na forma de calor ou trabalho, em cada componente. No compressor, o fluxo de trabalho realizado foi de $\dot{W}_c = 2,171 \text{ kW}$, o fluxo de calor transferido para fora do sistema no condensador foi de $\dot{Q}_{outc} = -9,462 \text{ kW}$, o fluxo de trabalho realizado pela bomba foi de $\dot{W}_b = 1,131 \text{ kW}$. No trocador de calor a transferência de calor da água de arrefecimento da bateria para o líquido refrigerante ocorre em uma taxa de $\dot{Q}_{TcH_2O} = -1,4181 \text{ kW}$.

Figura 3 – Diagrama $T - s$ do fluxo de refrigerante que passa pelo trocador de calor



Fonte: Autoria própria.

As vazões mássicas obtidas no fluxo do refrigerante foram as seguintes: $\dot{m}_r = 0,06145 \text{ kg/s}$, $\dot{m}_{r2} = 0,04097 \text{ kg/s}$ e $\dot{m}_{r3} = 0,02048 \text{ kg/s}$, com \dot{m}_r representando a vazão mássica de refrigerante que passa pelo compressor e pelo condensador, \dot{m}_{r2} a vazão mássica do refrigerante que passa pelo evaporador e \dot{m}_{r3} a vazão mássica do refrigerante que passa pelo trocador de calor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise energética foi realizada com base nas equações clássicas da termodinâmica e do software EES. A partir dos parâmetros extraídos da pesquisa de Hamut (2012) e de algumas adaptações, foi possível encontrar os parâmetros de temperatura, pressão, entalpia, entropia e título em todos os 11 estados do TMS aplicado a bateria propulsora do veículo híbrido. Além disso, foram encontrados todos os termos de fluxo de energia nos componentes, seja na forma de calor ou de trabalho.

O estudo realizado permite uma maior compreensão do ciclo termodinâmico aplicado no arrefecimento da bateria, possibilitando possíveis futuras melhorias no ciclo. O conhecimento das propriedades permite o detalhamento dos componentes, a fim de verificar pontos onde o ciclo pode ser alterado.

Estudos futuros que possam expandir a análise de energia para uma análise exérgica podem contribuir ainda mais com o entendimento deste ciclo, verificando não somente a quantidade de energia, mas também a qualidade da energia nos componentes.

REFERÊNCIAS

- Cintra, R. S.; Avila, L. V.; Schwartz, M. A.; Lisboa, G. da S.; Khaled, N. N. D.; Dauernheimer, E. R. Revisão sistemática da literatura sobre a evolução e tendências dos estudos sobre o ciclo de vida das baterias de veículos elétricos. *Revista De Gestão E Secretariado*, 2025, 16(2), e4637. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4637>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2026.
- HAMUT, H. S. **Exergy and Exergoeconomic Analyses and Optimization of Thermal Management Systems in Electric and Hybrid Electric Vehicles**. Tese (Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering)- Faculty of Engineering and Applied Science University of Ontario Institute of Technology. Oshawa, Ontario, Canada, 2012.
- KIM, G. H.; PESARAN, A. Battery Thermal Management System Design Modeling. Conference Paper NREL/CP-540-40446. **National Renewable Energy Laboratory**, Novembro de 2006. Disponível em : <https://www.osti.gov/>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2022.

MAZZUCCO, M. M. **Introdução aos Balanços de Massa e Energia**. 2013.

MORAN, M, J. et al. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. Sétima edição. Rio de Janeiro: LTC,2013.

OZKAYMAK, M; Kurt, H; Recebli, Z. Thermo-economic optimization of superheating and sub-cooling heat exchangers in vapor-compressed refrigeration system. **International Journal of Energy Research**, Wiley InterScience,ed. 32, p. 634-347, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.1381>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2022.

PAIXÃO, J.; ABAIDE, A. Fontes renováveis e matriz energética: uma análise considerando os avanços em microrredes e veículos elétricos. **Revista Tópicos**, v. 3, n. 28, 2025. ISSN: 2965-6672. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/fontes-renovaveis-e-matriz-energetica-uma-analise-considerando-os-avancos-em-microrredes-e-veiculos-eletricos>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2026.

PESARAN, A, A. Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions. **Advanced Automotive Battery Conference**, Las Vegas, Nevada, Fevereiro de 2001. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.553.5767&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 28 de Janeiro de 2022.

VERMA, J. K. SATSANGI, A. CHATURANI, V. A Review of Alternative to R134a (CH₂ClF) Refrigerant. IJETAE, **International Journal of Emerging Technology and 3 2 Advanced Engineering**, vol 3, n1 , Janeiro de 2013. Acesso em: 26 de Fevereiro de 2022.

YOSHIO, M; BRODD, R. J; KOZAWA, A. **Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies**. Nova York. Springer Science+Business Media, LLC,2009.



AMPLLA
EDITORA

