

AMBIENTE, SOCIEDADE E RECURSOS NATURAIS

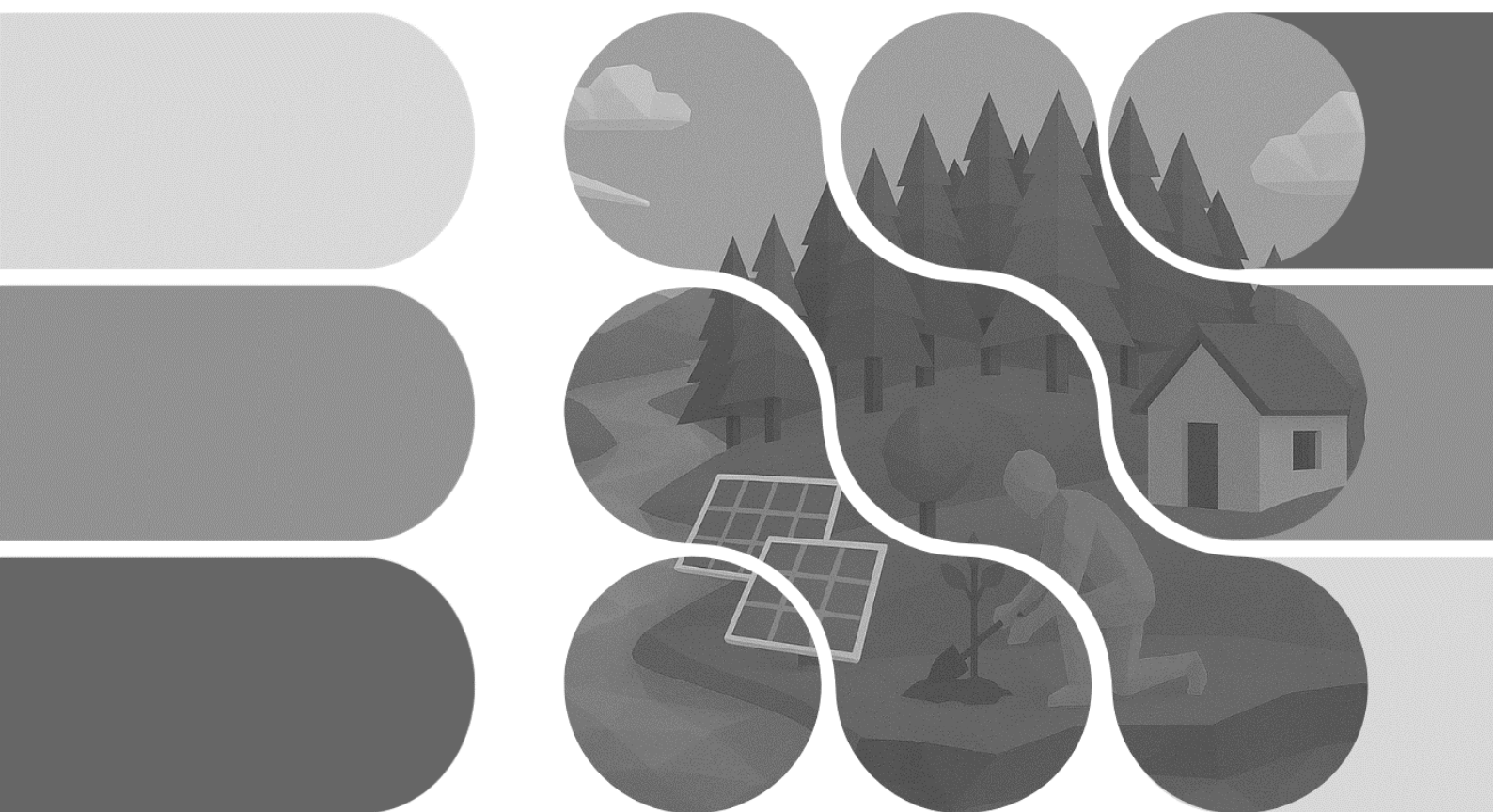
DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



MANOEL MARIANO NETO DA SILVA
HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR

AMBIENTE, SOCIEDADE E RECURSOS NATURAIS

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



MANOEL MARIANO NETO DA SILVA
HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR



2025 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Ambiente, sociedade e recursos naturais: desafios e soluções para o desenvolvimento sustentável 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.

ISBN: 978-65-5381-312-0

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-0

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br



2025

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 Moraes – 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 Autônoma 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 Carloto 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

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

A492

Ambiente, sociedade e recursos naturais: desafios e soluções para o desenvolvimento sustentável / Organização de Manoel Mariano Neto da Silva, Higor Costa de Brito. – Campina Grande/PB: Ampla, 2025.

(Ambiente, sociedade e recursos naturais, V. 1)

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-312-0

DOI 10.51859/ampla.asr5320-0

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Meio ambiente - Aspectos sociais. I. Silva, Manoel Mariano Neto da (Organizador). II. Brito, Higor Costa de (Organizador). III. Título.

CDD 304.2

Índice para catálogo sistemático

I. Desenvolvimento sustentável : Meio ambiente - Aspectos sociais

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br

PREFÁCIO

A presente obra, “Ambiente, sociedade e recursos naturais: desafios e soluções para o desenvolvimento sustentável”, surge em um momento histórico de reflexão sobre as relações entre humanidade e natureza. Em meio às transformações climáticas, à escassez de recursos e às desigualdades socioambientais, torna-se cada vez mais urgente compreender como ciência, educação, tecnologia e políticas públicas podem convergir para a construção de um futuro sustentável.

Este livro reúne trabalhos científicos que abordam, de forma interdisciplinar, as interações entre ambiente, sociedade e economia, sob diferentes perspectivas teóricas e metodológicas. Assim, esta obra propõe uma leitura ampla e crítica sobre os principais desafios ambientais contemporâneos, ao mesmo tempo em que apresenta alternativas viáveis e inovadoras para o uso equilibrado dos recursos naturais e a promoção da justiça socioambiental.

O conjunto de capítulos aqui apresentados reflete a pluralidade de temas e abordagens que caracterizam o campo da sustentabilidade: desde reflexões teóricas e análises políticas até estudos experimentais e tecnológicos. Tal diversidade expressa o compromisso dos autores com a produção de conhecimento aplicado, ético e socialmente relevante, capaz de dialogar tanto com o meio acadêmico quanto com gestores públicos, educadores, agricultores e a sociedade civil.

Mais do que uma compilação de pesquisas, esta obra constitui um espaço de encontro entre saberes. Ela reafirma que os desafios ambientais não podem ser enfrentados de forma isolada, mas exigem cooperação entre disciplinas, setores e comunidades. A integração entre ciência e sociedade, aqui evidenciada, revela-se essencial para repensar práticas de consumo, formas de produção e modelos de desenvolvimento.

Assim, “Ambiente, sociedade e recursos naturais: desafios e soluções para o desenvolvimento sustentável” consolida-se como uma contribuição significativa ao debate contemporâneo sobre sustentabilidade, ao mesmo tempo em que inspira novas ações, pesquisas e políticas voltadas à conservação ambiental e ao bem-estar coletivo.

Que esta leitura desperte consciência, estimule o pensamento crítico e reforce o compromisso com um planeta mais equilibrado, justo e habitável para as gerações presentes e futuras.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I. AMBIENTE, SOCIEDADE E RECURSOS NATURAIS: A EDUCAÇÃO AMBIENTAL COCAMO ALTERNATIVA PARA A GESTÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	10
CAPÍTULO II. CONHECIMENTO DOS ALUNOS DE 8º E 9º ANO DE UMA ESCOLA PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE MARANGUAPE/CE ACERCA DO AQUECIMENTO GLOBAL	21
CAPÍTULO III. QUEM TEM DIREITO À CIDADE VERDE? SOCIOLOGIA AMBIENTAL E AS CONTRADIÇÕES URBANAS EM CAMPINA GRANDE - PARAÍBA.....	29
CAPÍTULO IV. GOVERNANÇA E MARCO LEGAL DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS	43
CAPÍTULO V. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS NAS RESERVAS EXTRATIVISTAS DE CORUMBAU E CASSURUBÁ: DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE	58
CAPÍTULO VI. NACIONALISMO, MÍDIA E AGROECOLOGIA: PERCEPÇÕES EUROPEIAS E LATINO-AMERICANAS DO CARTOON MOVEMENT SOBRE O ACORDO COMERCIAL UE-MERCOSUL (2020-2024).....	70
CAPÍTULO VII. VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CAMINHOS PARA A RESILIÊNCIA SOCIOAMBIENTAL.....	85
CAPÍTULO VIII. GESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: CISTERNAS COMO TECNOLOGIA SOCIAL E POLÍTICA PÚBLICA PARA A SUSTENTABILIDADE.....	91
CAPÍTULO IX. ANÁLISE MORFOMÉTRICA E BALANÇO HÍDRICO NA MONTANTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERGIPE	100
CAPÍTULO X. DA FONTE AO COPO: A QUÍMICA APLICADA À ANÁLISE DA ÁGUA EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI	114
CAPÍTULO XI. RISCOS DOS RESÍDUOS FARMACÊUTICOS NO MEIO AMBIENTE: CORRELAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS QUÍMICAS, TOXICIDADE AMBIENTAL E REGULAMENTAÇÕES SANITÁRIAS.....	129
CAPÍTULO XII. DESAFIOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM LABORATÓRIOS EDUCACIONAIS	138
CAPÍTULO XIII. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS PARA O CONTROLE DE AEDES AEGYPTI: UMA REVISÃO	150

CAPÍTULO XIV. BIOINSUMOS: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA A AGRICULTURA.....	165
CAPÍTULO XV. DIVERSIDADE DE BANANAS NO CULTIVO FAMILIAR.....	178
CAPÍTULO XVI. DIVERSIDADE DE ABÓBORAS NA FEIRA LIVRE DE ALTA FLORESTA - MT	186
CAPÍTULO XVII. LEVANTAMENTO DAS VARIEDADES DE MANDIOCA CULTIVADAS POR PEQUENOS AGRICULTORES EM ALTA FLORESTA-MT.....	196
CAPÍTULO XVIII. DÉFICIT HÍDRICO SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO, VARIEDADE CHITA FINA.....	205
CAPÍTULO XIX. CORANTES NATURAIS NA COLORAÇÃO DE GRÃOS DE PÓLEN	215
CAPÍTULO XX. CORANTES ALTERNATIVOS DE ORIGEM VEGETAL: UMA OPÇÃO ECONÔMICA PARA TESTES COLORIMÉTRICOS PARA PÓLENS	223
CAPÍTULO XXI. VISUALIZAÇÃO DE GRÃOS DE PÓLEN UTILIZANDO CORANTES NATURAIS EXTRAÍDOS DE AMORA -PRETA (MORUS NIGRA L.) E CAFÉ (COFFEA ARABICA)	232
CAPÍTULO XXII. AVALIAÇÃO FOTOPROTETORA DO ÓLEO ESSENCIAL DO MANJERICÃO (<i>OCIMUM BASILICUM</i> L.): UM ESTUDO <i>IN VITRO</i> E <i>IN SILICO</i>	243
CAPÍTULO XXIII. SUPLEMENTAÇÃO DE COMPONENTE DO ÓLEO DE CRAVO (<i>SYZYGIIUM AROMATICUM</i>) EM DIETA DE GALINHAS POEDEIRAS CRIADAS EM SISTEMA LIVRE DE GAIOLAS.....	255
CAPÍTULO XXIV. USO DE RESÍDUOS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL: EXPERIÊNCIAS GLOBAIS, POTENCIAL AMAZÔNICO E PRINCIPAIS DESAFIOS.....	265
CAPÍTULO XXV. DIVERSIDADE DE FUNGOS ISOLADOS DE TOCOS DE EUCALIPTO DETERIORADOS.....	281
CAPÍTULO XXVI. INFLUÊNCIA DA CARACTERÍSTICAS ANATÔMICA E QUÍMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DE MADEIRAS UTILIZADAS EM CONSTRUÇÕES TRADICIONAIS EM MOCAMBIQUE: UMA REVISÃO	297
CAPÍTULO XXVII. PRINCIPAIS USOS DA MADEIRA DE MANGUEZAL EM MOÇAMBIQUE: UMA REVISÃO CONTEXTUAL.....	312
CAPÍTULO XXVIII. MINERAÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS NO ESTADO DO AMAPÁ: UMA REVISÃO	327
CAPÍTULO XXIX. GERAÇÃO DE BIOGÁS E ESTABILIDADE OPERACIONAL DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS DE CASCA DE LARANJA E GLICEROL BRUTO EM SISTEMA SEMICONTÍNUO	348

CAPÍTULO I

AMBIENTE, SOCIEDADE E RECURSOS NATURAIS: A EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO ALTERNATIVA PARA A GESTÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

ENVIRONMENT, SOCIETY AND NATURAL RESOURCES: ENVIRONMENTAL EDUCATION AS AN ALTERNATIVE FOR THE MANAGEMENT OF CONSERVATION UNITS

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-1

Eliton Janio Araújo Ferreira ¹

¹ Mestre em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia pelo PPGEDAM/NUMA/UFPA.

RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar a Educação Ambiental como importante ferramenta no processo de gestão de Unidades de Conservação. Como forma de embasar essa formulação analisou-se o conceito de educação ambiental a partir do olhar de diversos autores, relacionando-os com as realidades vivenciadas pelas UCs. A metodologia para a realização deste estudo concentrou-se em uma pesquisa bibliográfica por meio de diversos instrumentos, dentre eles: livros, artigos publicados em periódicos, sites, dentre outros. Como resultados, constatou-se que a efetividade das UCs transcende a dimensão normativa e técnica, exigindo engajamento social, diálogo e corresponsabilidade. A Educação Ambiental, ao articular conhecimento científico, saberes tradicionais e valores comunitários, promove transformação das relações sociedade-natureza, fortalece a governança participativa e contribui para a mediação de conflitos socioambientais.

Palavras-chave: Educação Ambiental. Participação. Unidade de Conservação. Recursos naturais.

ABSTRACT

This paper aims to present Environmental Education as an important tool in the management process of Protected Areas. To support this formulation, the concept of environmental education was analyzed based on the work of several authors, relating them to the realities experienced by Protected Areas. The methodology for this study focused on bibliographic research using various instruments, including books, articles published in journals, websites, and others. The results showed that the effectiveness of Protected Areas transcends the normative and technical dimension, requiring social engagement, dialogue, and co-responsibility. By articulating scientific knowledge, traditional wisdom, and community values, Environmental Education promotes transformation of society-nature relations, strengthens participatory governance, and contributes to the mediation of socio-environmental conflicts.

Keywords: Environmental Education. Participation. Conservation Unit. Natural Resources.



1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UCs) constituem-se como instrumentos fundamentais para a proteção da biodiversidade, a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a busca por alternativas sustentáveis de desenvolvimento. Criadas no Brasil a partir de um arcabouço legal consolidado pela Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), essas áreas surgem como espaços de mediação entre a necessidade de conservação ambiental e as demandas sociais e econômicas das comunidades humanas.

No entanto, como demonstram diversos estudos, como de Vedoveto et al. (2011); Bastos et al. (2014); Abrahão e Asmus (2018), o simples ato de instituir uma UC não garante sua efetiva preservação. A gestão dessas áreas envolve múltiplos desafios, entre eles a escassez de recursos humanos e financeiros, a ausência de planos de manejo, a fragilidade na consolidação de conselhos gestores e as pressões externas relacionadas ao avanço de atividades econômicas insustentáveis.

Essas dificuldades revelam que a gestão de UCs transcende a esfera técnica ou burocrática, configurando-se como um processo político, social e pedagógico, no qual diferentes atores (comunidades locais, gestores públicos e setor privado) disputam, negociam e compartilham responsabilidades sobre o uso e a proteção do território. Nesse sentido, a literatura aponta que os mecanismos formais de gestão, como planos de manejo e conselhos consultivos ou deliberativos, embora essenciais, não são suficientes para assegurar a conservação dos recursos naturais se não houver uma ampla sensibilização social e o fortalecimento da participação cidadã (SILVA et al., 2013; IBASE, 2006).

Neste sentido, a Educação Ambiental se apresenta como uma ferramenta estratégica para qualificar a gestão das UCs, ressaltando que do que transmitir informações sobre conservação, ela busca promover processos emancipatórios que transformem a relação entre sociedade e natureza, estimulando a corresponsabilidade e a construção coletiva de alternativas sustentáveis (JACOBI, 2003; LOUREIRO, 2004). Ao articular ciência, saberes tradicionais e valores comunitários, a Educação Ambiental permite que os diferentes atores envolvidos percebam as unidades não como espaços de restrição, mas como territórios de oportunidade, capazes de conciliar preservação ambiental, valorização cultural e geração de benefícios sociais e econômicos que beneficiem as populações no entorno das UCs.

Dessa forma, compreender a Educação Ambiental como um instrumento de gestão de recursos naturais em Unidades de Conservação é reconhecer que a efetividade dessas áreas depende, da capacidade de mobilizar pessoas em torno de um projeto coletivo de conservação. Esse processo implica tanto em fortalecer a governança participativa quanto em consolidar práticas sociais que assegurem a proteção da biodiversidade e a qualidade de vida das populações presentes e futuras.

Nesse sentido, este texto objetiva apresentar a Educação Ambiental como importante ferramenta no processo de gestão de Unidades de Conservação, oferecendo elementos para discussão dentro desta temática.

2. O DESAFIO PARA A GESTÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As Unidades de Conservação são institucionalizadas para o tratamento da relação ser humano-natureza e são consideradas importantes instrumentos para a gestão ambiental, em busca de outras formas de desenvolvimento (BASTOS et al., 2014). Mas, a simples criação de uma UC não garante a conservação dos recursos naturais existentes na área protegida, se faz necessário realizar a gestão da área, e na visão de Vedoveto et al (2011), essa gestão necessita de recursos humanos, financeiros e outros itens. Brasil (2015) também alerta para a importância de estruturar e criar os mecanismos de gestão que são necessários e capazes de cumprir os objetivos para que as UC foram criadas.

Além do mais, a Lei Federal que implantou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação define como principais instrumentos de gestão para UC, a criação do Conselho Deliberativo e a construção do plano de manejo¹, sendo que a lei recomenda que os planos sejam elaborados no prazo de 05 (cinco) anos a partir da data de criação da unidade (BRASIL, 2000). Vedoveto et al (2011) afirma que a maioria das unidades da região amazônica ainda não iniciaram ou concluíram seus planos de manejo.

Nesta linha de análise, Bastos et al. (2014, p.207), ressalta que

A política de institucionalização de UC enfrenta contexto desafiador no Brasil, com sua dimensão continental e organização político-administrativa assentada num recente pacto federativo. Nota-se a complexidade do tema

¹ “documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade” (BRASIL, 2000).

pelos anos decorridos entre o surgimento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA, Lei 6.938/1981) e a adoção da norma regulamentadora do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, Lei 9.985/2000).

De fato, a partir da Política Nacional de Meio Ambiente e a institucionalização da Lei que criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação passaram-se aproximadamente dezenove anos, e mesmo após esse tempo, a implantação das Unidades de Conservação ainda continua sendo um processo desafiador, principalmente para construir os dois maiores mecanismos de gestão numa UC que são os Conselhos gestores ou deliberativos e os planos de manejo, considerando que já se vão dezoito anos da criação da Lei do SNUC.

Silva et al. (2013), ao discutirem a elaboração dos Planos de Manejo, acreditam que devido a construção desse instrumento demandar estudos sistematizados, recursos financeiros e equipe técnica especializada para sua efetivação, essa seja uma das principais dificuldades encontradas. Neste sentido, é necessário que haja o engajamento entre o poder público, entidades da sociedade civil e as comunidades influenciadas pela UC para garantir a conservação dos recursos naturais, haja vista que na ausência desse instrumento, não ficam claras as normas sobre a gestão na unidade, isto é, “se a sociedade não estiver integrada a gestão da UC e percebê-la apenas como restrição ao uso, sua percepção será negativamente e ela não será parceria da UC para a proteção da natureza” (IBASE, 2006).

Abrahão e Asmus (2018, p. 105) ao refletirem sobre as problemáticas enfrentadas na instituição e manutenção de Unidades de Conservação, afirmam que

Estes problemas podem estar representados pela ausência de fatores relacionados com uma gestão adequada, que incluem instrumentos de suporte e sua base legal e política, tais como zona de amortecimento, ordenamento territorial, plano de manejo realizado pelo órgão competente com participação efetiva dos atores interessados no processo, conselho gestor, entre outros. Uma estrutura adequada (física e humana) para o bom funcionamento das UCs demandaria investimento e sustentabilidade efetiva, necessários para uma boa gestão.

Como já mencionado, outro importante instrumento na gestão das Unidades de Conservação são os conselhos, que podem ser consultivos ou deliberativos, dependendo da categoria da unidade. Sobre este órgão colegiado, Vedoveto et al (2011, p. 33) avalia que “o número de Unidades de Conservação da Amazônia com conselhos gestores consultivos ou deliberativos ainda é baixo”.

Silva et al. (2013, p. 14), compreendem o conselho em uma UC, como

um espaço de conflitualidades não-pessoais para construção de consensos (não necessariamente harmônicos) voltados aos interesses coletivos. É um lugar onde são defendidas ideias, teses, proposições etc. com argumentações qualificadas, ou seja, embasadas nos estatutos, em experiências vividas, em analogias bem fundamentadas, em opiniões bem amarradas e sem melindres, uma vez que qualquer que seja a proposta ou tese a ser defendida em debate aberto, ainda que seja com a melhor das intenções, sempre haverá discordâncias, concordâncias ou aceitação parcial das ideias que se está buscando efetivar.

Compreende-se que o Conselho é uma importante instância de decisão no âmbito das Unidades de Conservação. É nesse espaço que os representantes dos diversos segmentos podem expressar suas opiniões e fazer proposições que repercutam na conservação dos recursos naturais, bem como no cumprimento dos objetivos pelos quais a reserva foi criada. No entanto, Silva et al. (2013, p. 14) ressaltam que “É evidente de que o conselho (deliberativo ou consultivo) em uma UC constitui-se em peça formal necessária, mas não suficiente, para a construção de processos de tomada de decisão de forma colegiada”. Nessa perspectiva, Cerati et al (2011, p. 06) faz uma crítica sobre o modelo de gestão praticado nas UC no Brasil, afirmando que este

não favorece o engajamento da comunidade nos processos decisórios, ao contrário, é marcado por um distanciamento entre as aspirações e necessidades da comunidade em relação às decisões técnicas tomadas pelos gestores, que por sua vez também estão distanciadas da realidade local.

Mesmo tendo essa visão, de acordo com este mesmo autor, “há um crescente reconhecimento que sem o envolvimento da população do entorno das UC no planejamento, manejo e gestão das áreas preservadas, poucas são as chances de sucesso dos projetos para a conservação da biodiversidade” (CERATI et al., 2011, p.06).

Assim também, reafirma-se o posicionamento de que a comunidade local, bem como os órgãos do poder público e a sociedade civil organizada são fundamentais no processo de gestão das UC, principalmente naquelas onde os instrumentos já citados são inexistentes ou há a ausência do órgão gestor na unidade. Abrahão et al. (2018, p. 105) também corrobora do mesmo pensamento e afirma que a “falta de uma participação mais efetiva da população e a

ausência de uma boa governança têm sido grandes desafios desde o início da criação das primeiras UC no Brasil no final da década de 1930”

Nessa mesma linha de análise, IBASE (2006) pondera que

Na consolidação do conselho, devem-se levar em consideração as heterogeneidades de contexto na capacidade de participação social, de modo a serem criadas condições para a real democratização do processo decisório. Essa condição só é possível se houver a participação efetiva e qualificada dos grupos sociais que historicamente estiveram à margem da gestão e que são, normalmente, os mais afetados pela existência das áreas protegidas (p.17).

Considera-se esse ponto crucial para a efetiva gestão participativa, isto é, a participação social qualificada dos representantes dos setores menos favorecidos, pois estes conhecem a realidade de perto e possuem maior embasamento para apontar as lacunas referentes ao planejamento e a gestão das UC, não menos importante esses conhecimentos podem aliar-se aos conhecimentos técnicos das organizações do poder público dentre os órgãos de fiscalização e controle, universidades dentre outros, ambos trabalhando em conjunto para garantir as populações o usufruto dos recursos naturais, mas também a sua conservação.

Desta forma, se faz necessário que os atores sociais sintam-se realmente partícipes do processo de gestão, o qual Silva et al. (2013) consideram como um dos maiores desafios para a gestão, pois trata-se de “empoderar as pessoas, qualificar a maneira como se posicionar nos debates, construir espaços prediais apropriados, enfim, gerar as condições objetivas de funcionamento desses conselhos” (p. 14). De acordo com Abrahão et al. (2018),

[...] a deficiência de uma efetiva educação ambiental capaz de fortalecer, sensibilizar e trazer informações pertinentes, no sentido de pertencimento aos atores envolvidos e sua participação nos processos de tomada de decisões nas Unidades de Conservação.

Como forma de contribuir nesse processo, IBASE (2006, p. 17) considera “fundamental pensar o alcance dos processos de educação ambiental, cujas ações resultem do diálogo entre os diferentes setores e na participação mais efetiva de todas as pessoas que integram esses conselhos”. Desta forma, acredita-se na educação ambiental para além do conselho, mesmo

tendo conhecimento que essa instância é composta por pessoas chaves no território onde se encontra a UC.

A Educação Ambiental numa perspectiva emancipatória e por meio de um processo permanente no âmbito da UC, pode ser considerada como um importante instrumento de gestão, o qual repercutirá na conservação dos recursos naturais, na proteção dos meios de vida e na cultura das populações que estão dentro ou no entorno das Unidades de Conservação.

3. A EDUCAÇÃO AMBIENTAL É UMA IMPORTANTE FERRAMENTA NA GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Considerando que a gestão de uma UC envolve múltiplos desafios, entre os quais: conflitos de uso dos recursos, a pressão por atividades econômicas insustentáveis, a carência de recursos financeiros e humanos, além da necessidade de integração entre comunidades locais e órgãos gestores. A Educação Ambiental apresenta-se como uma ferramenta que busca contribuir como um processo formativo que articula: ciência, cultura, valores e práticas sociais em prol da conservação.

Mais do que transmitir informações voltadas para a conservação dos recursos presentes nas UCs, a EA deve busca promover a transformação das relações entre sociedade e natureza, sensibilizando os diferentes atores para a importância da preservação ambiental e do manejo sustentável, possibilitando “maior inter-relação dos humanos com a natureza” (SILVA et al, 2024, p. 66)

Segundo Jacobi (2003), as ações a partir da EA devem ser entendidas como um processo contínuo de construção de valores éticos, atitudes e práticas que orientem o indivíduo e a coletividade para formas mais equilibradas de interação com o meio ambiente, isto é, na perspectiva das Unidades de Conservação, implica em estimular a corresponsabilidade de comunidades locais, visitantes, gestores públicos e setor privado na proteção dos ecossistemas, estabelecendo uma aliança que favoreça “a sensibilização e reflexão dos cidadãos, tornando-se alicerces basais para atitudes sustentáveis, além de proporcionar qualidade de vida e proteger o Planeta e as espécies” (SILVA et al, 2024, p. 66).

Dessa maneira, a gestão deixa de ser exclusivamente técnica e passa a incorporar dimensões sociais e pedagógicas, ou seja, a participação é condição estruturante nas práticas

de educação ambiental, tornando-se emancipatórias e libertárias (SILVA et al, 2024b). Desta forma,

ao se falar em educação ambiental a palavra de ordem deve ser transformação. A transformação do sujeito paciente em um sujeito ativo, capaz de exercer diariamente a cidadania, capaz de questionar o ordenamento mundial hegemônico e propor outros caminhos. Consequentemente, a educação ambiental é também um ato político e social. Por todos esses atributos as práticas da educação ambiental não se restringem a um único ambiente ou público, permeando por todos os âmbitos da sociedade, sem distinção de classe social, idade ou gênero (CRUZ e SOLA, 2017, p. 224).

No campo prático propriamente dito, a aplicação da EA em UCs pode assumir diferentes estratégias, como: programas de visitação, oficinas comunitárias, projetos escolares, campanhas de sensibilização e capacitação de lideranças locais. Loureiro (2004), ressalta que é nesse diálogo entre conhecimento científico, saberes tradicionais e práticas comunitárias que se constrói uma Educação Ambiental crítica, capaz de fortalecer a gestão participativa numa Unidade de Conservação. Neste sentido, Campelo e Melo (2018, p. 83), ressaltam que a Educação Ambiental

é um processo educativo que se direciona à sociedade, no intuito de sensibilizar a população acerca das questões ambientais, informando-a sobre a importância da proteção e da manutenção do meio ambiente e a influência que ele exerce, de modo direto ou indireto, na qualidade de vida da população.

Desta forma, a EA também desempenha um papel primordial para superarão ou mediação de conflitos socioambientais, isto é, a implantação de unidades muitas vezes encontra resistência por parte de alguns usuários, especialmente quando percebem restrições ao uso tradicional dos recursos. Desta forma, a realização de processos educativos que valorizem o conhecimento popular, promova o diálogo e a mediação de interesses tornam-se essenciais, fortalecendo a sustentabilidade a longo prazo das UCs ao estimular a apropriação simbólica e identitária dos territórios. Ou seja, nas palavras de Campelo e Melo (2018, p. 88):

a educação ambiental direcionada às comunidades e envolvendo uma diversidade de grupos sociais que possuem um convívio direto com as UCs, sejam vizinhos, moradores, usuários ou beneficiários desses territórios

resguardados, é um método essencial para o envolvimento da sociedade na desafiadora tarefa de conservar as diversidades natural, cultural e histórica desses territórios.

Portanto, a educação ambiental deve fomentar nos diversos atores presentes nas Unidades de conservação a compreensão do valor ecológico, cultural e econômico dessas áreas protegidas, tornando-os como agentes multiplicadores da conservação. Esse processo contribui não apenas para a redução de práticas predatórias, mas também para a promoção de iniciativas econômicas sustentáveis, a exemplo do: turismo de base comunitária, a agricultura de base ecológica, manejo de produtos florestais não madeireiros, pescados e outros recursos, a depender da categoria da unidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão das Unidades de Conservação se apresenta como um processo permeado por desafios históricos e estruturais. A ausência ou fragilidade de instrumentos fundamentais, como os planos de manejo e os conselhos gestores, a escassez de recursos humanos e financeiros, bem como as pressões externas decorrentes da exploração econômica insustentável, evidenciam as limitações do modelo atual. Além disso, a complexidade da organização político-administrativa brasileira e as disputas territoriais em áreas protegidas tornam a efetividade das UCs um objetivo ainda distante em muitos contextos, sobretudo na Amazônia, onde a dimensão espacial e a diversidade sociocultural exigem soluções inovadoras.

Frente a esse quadro, a compreensão de que a conservação não se realiza apenas por meio de normas legais ou delimitações espaciais, mas sim pela construção de processos sociais participativos, é essencial. A experiência tem demonstrado que quando a comunidade local não reconhece o valor da UC ou a percebe apenas como restrição ao uso de recursos, o engajamento social se fragiliza, comprometendo a efetividade da gestão. Portanto, os instrumentos previstos na legislação, embora imprescindíveis, precisam ser fortalecidos por práticas de sensibilização, diálogo e corresponsabilidade.

Nesse sentido, a Educação Ambiental se consolida como uma ferramenta estratégica e indispensável para a gestão de recursos naturais em Unidades de Conservação. Ao promover processos formativos contínuos e emancipatórios, a EA amplia a compreensão sobre a importância ecológica, social e cultural das áreas protegidas, fortalece a governança participativa e estimula práticas sustentáveis. Sua função não se restringe a informar, mas a

transformar: transformar a percepção das comunidades locais, dos gestores e dos visitantes, de modo que a UC deixe de ser entendida apenas como imposição legal e passe a ser vista como espaço de oportunidades e de construção coletiva.

Essa abordagem permite que a gestão das UCs seja mais integrada e inclusiva, alinhando o conhecimento científico aos saberes tradicionais, e as demandas locais às políticas públicas. Assim, a Educação Ambiental contribui tanto para a mediação de conflitos socioambientais quanto para o fortalecimento da identidade territorial e cultural das populações, aspectos fundamentais para assegurar a sustentabilidade a longo prazo.

A superação dos desafios da gestão de Unidades de Conservação requer reconhecer que a conservação é, antes de tudo, um processo social. A Educação Ambiental, nesse contexto, constitui-se como um dos pilares para o alcance da efetividade dessas áreas, promovendo corresponsabilidade, mobilização dos atores diversos e a viabilização da construção de alternativas que conciliem preservação da biodiversidade e melhoria da qualidade de vida das comunidades.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Gisele Rosa; ASMUS, Milton. **Sistema de governança em Unidades de Conservação**. Desenvolv. Meio Ambiente, v. 44, Edição especial: X Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, p. 104-117, fevereiro 2018.

BASTOS, Rodolpho Zahluth et al. **Realidade e desafios da institucionalização de unidades de conservação municipais do estado do Pará, Brasil**. Revista GeoAmazônia, Belém, v. 02, n. 04, p. 206 - 220, jul./dez. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A Unidade de Conservação e o território: Reconhecendo o contexto socioambiental e geopolítico**. Brasília: MMA, 2015.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 10 set. 2025.

CAMPELO, Ana Karine Ribeiro; MELO, Juliana Barroso de. **A importância de projetos de educação ambiental em uma Unidade de Conservação no semiárido nordestino**. RBCIAMB, n.49, set 2018, p. 81-94. Disponível em: < https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/download/39/468/2308 >. Acesso em: 20 ago. 2025.

CERATI, Tânia Maria et al. **Gestão Participativa em uma Unidade de Conservação Urbana: A busca de estratégias para conservar o Parque Estadual das fontes do Ipiranga, São**

Paulo, Brasil. INTERFACEHS, v.6, n.1, Abril. 2011. Disponível em: < https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/08/1_ARTIGO_vol6n1.pdf >. Acesso em: 20 ago. 2025.

CRUZ, Camila Aparecida da; SOLA, Fernanda. **As Unidades de Conservação na perspectiva da educação ambiental**. Ambiente & Educação, v. 22, n. 2, p. 208-227, 2017. Disponível em: < <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/download/6216/5107/22343> >. Acesso em: 05 set. 2025.

IBASE. Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas. **Gestão Participativa em Unidades de Conservação**. Rio de Janeiro: IBASE, 2006 (Programa Petrobras Ambiental).

JACOBI, Pedro. **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade**. *Cadernos de Pesquisa*, n. 118, p. 189-205, 2003. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cp/a/kJbkFbyJtmCrFtmfHxktgnt/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso 01 set. 2025.

LOUREIRO, Carlos Frederico Bernardo. **Educação ambiental e movimentos sociais na construção da cidadania ecológica**. São Paulo: Cortez, 2004.

SILVA, José Bittencourt da; SIMONIAN Ligia T. Lopes; COSTA, Adalberto Portilho; BATISTA, Iane Maria da Silva. **Sustentabilidade Institucional em Reservas Extrativistas na Amazônia Brasileira**. *Papers do NAEA*, n. 316, Belém, Dezembro, 2013. Disponível em: < <https://periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/11300/7781> >. Acesso em: 02 set. 2025.

SILVA, Wandson Ricardo de Queiroz Silva; BEZERRA, Cinara Wanderléa Felix; ANDRADE, Luciana de Matos. **Revisão sistemática numa perspectiva de inter-relação entre educação ambiental e unidades de conservação do Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.12, n.3, 2024. Disponível em: < <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1679/434> >. Acesso em 14 set. 2025.

VEDOVETO, Mariana; FUTADA, Silvia de Melo; RIBEIRO, Maria Beatriz. **Gestão das Unidades de Conservação na Amazônia Legal**. In: VERÍSSIMO, Adalberto et al. (org.). *Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira*. Belém: IMAZON; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011.

CAPÍTULO II

CONHECIMENTO DOS ALUNOS DE 8º E 9º ANO DE UMA ESCOLA PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE MARANGUAPE/CE ACERCA DO AQUECIMENTO GLOBAL

KNOWLEDGE OF 8TH AND 9TH GRADE STUDENTS FROM A PUBLIC SCHOOL IN THE MUNICIPALITY OF MARANGUAPE/CE ABOUT GLOBAL WARMING

DOI: 10.51859/ampila.asr5320-2

Francisco Leanderson Pereira da Silva ¹

¹ Mestre em Ensino de Biologia. Universidade Estadual do Ceará – UECE

RESUMO

O uso irregular da natureza faz com que todas as pessoas sejam prejudicadas por atos irresponsáveis da sociedade como um todo. A população precisa ser informada de que atitudes realizadas pelas pessoas muitas vezes de forma inocente vai gerar para o nosso planeta mudanças ambientais drásticas causando até o desaparecimento de vida terrestre. O objetivo desse trabalho é analisar o conhecimento dos alunos de 8º e 9º ano sobre o aquecimento global e sua contribuição frente a este fenômeno. Trata-se de uma pesquisa quantitativa de caráter exploratório, onde foi realizada com alunos da turma de 8º e 9º ano de uma escola da rede municipal de ensino do município de Maranguape/CE. Os dados foram coletados por meio de questionário. Frente aos resultados obtidos, podemos concluir que os alunos apresentam certo interesse nas questões ambientais, mas apresentam deficiente conhecimento sobre o assunto. Isto fica evidente nas questões que trataram do entendimento dos alunos acerca do aquecimento global bem como as interferências de suas práticas no cotidiano da vida para aquecimento global.

Palavras-chave: Natureza. Mudanças Ambientais. Aquecimento global.

ABSTRACT

Irregular use of nature causes all people to be harmed by irresponsible acts of society as a whole. The population needs to be informed that actions taken by people, often innocently, will generate drastic environmental changes to our planet, even causing the disappearance of life on Earth. The objective of this study is to analyze the knowledge of 8th and 9th grade students about global warming and their contribution to this phenomenon. This is a quantitative exploratory study, which was carried out with 8th and 9th grade students from a municipal school in the city of Maranguape/CE. Data were collected through a questionnaire. Based on the results obtained, we can conclude that students show some interest in environmental issues, but have insufficient knowledge on the subject. This is evident in the questions that dealt with the students' understanding of global warming as well as the interference of their daily practices in global warming.

Keywords: Nature. Environmental Changes. Global Warming.

1. INTRODUÇÃO

Tudo que nos rodeia, que está ao alcance dos nossos olhos e além de nossa visão é chamado de ambiente. O meio de relacionamento do homem, plantas, organismos, seres vivos e não vivos em geral estão inseridos dentro desse ambiente. É desse espaço de onde se retira os mecanismos de sobrevivência para todas as espécies terrestres, e como lembra Barbosa (2013), o ambiente não é somente a natureza, mas o conjunto de relações e interações entre natureza, seres vivos, objetos e coisas.

O ambiente é muito mais complexo do que o apresentado na mídia, escolas, instituições sociais. Muitas vezes ouvimos falar em junções de palavras que colocam a palavra ambiente em sua constituição. Temos como exemplo ambiente antrópico, que vem falar do meio natural que o homem vive; e o ambiente social que parece muito com o citado anteriormente, mas realiza uma espécie de junção entre o meio material, concreto, com os comportamentos, atitudes, características culturais dos indivíduos (BARBOSA, 2013).

Esses dois ambientes são abordados muitas vezes na questão do uso desordenado da natureza disponível, onde retira-se em excesso, mantendo assim comportamentos que passaram de geração a geração sem os devidos cuidados com esse meio externo. Além desses existem outros como o ambiente tecnológico, ambiente organizacional, ambiente cultural, sendo que todos podem estar juntos e formarem um só ambiente no qual estão todas as interações entre seus componentes (RIBEIRO, 2003).

A saúde está intimamente ligada ao ambiente que se vive, dependendo das condições básicas de qualidade de vida inseridas em um determinado local, estas podem ter aspectos positivos e negativos sobre a saúde de um determinado grupo de pessoas. O ambiente é alterado através do crescimento desordenado das cidades brasileiras, locais que não tem nenhuma condição de moradia e que mesmo assim são ocupadas, como as regiões de matas, margens de lagoas e rios, beira de praias. Esses locais são exemplos de moradias que não possuem estrutura de água potável, esgoto, ambientes de existência de animais silvestres, entre outros pontos negativos que afetam diretamente a qualidade de vida da população e consequentemente vai gerar uma alteração no ambiente original (SOUZA; CUNHA; CONSTANTINO, 2015).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo ambiental é essencial nos dias de hoje devido às constantes mudanças ambientais que estão ocorrendo em nosso planeta. Mudança ambiental se observamos no decorrer da história é algo normal. Passamos por períodos de glaciação, de esfriamento e aquecimento terrestre. O problema está no fato de que a intervenção humana está acelerando esse processo, causando a destruição de *habitats* naturais de muitas espécies, levando as mesmas a entrarem num processo de extinção, causando um desequilíbrio ecológico sem precedentes (MIRANDA, 2007).

O homem tem a falsa impressão de que ele é maior do que a natureza, de que ele pode fazer tudo contra ela e que nada lhe vai acontecer. Na verdade o que temos ciência é de que somos sim os maiores predadores do planeta, mas que também fazemos parte do meio ambiente formando um elo com a natureza. Se observarmos o que a teoria da evolução no apresenta no processo de seleção natural, somos adaptados ao meio em que vivemos. (ROSA; CARVALHINHO, 2012).

Esse pensamento de superioridade é a força propulsora de ações atuais que geram problemas ambientais em larga escala, que acabam atingindo todas as espécies de seres vivos do planeta. Como comentam Rodrigues e Junior (2009) a crise contemporânea na natureza tem como ponto principal essa relação desregulada entre homem e natureza verificada por esse olhar de maioria vista do ser humano para com o meio (GUIMARÃES, 2004 *apud* RODRIGUES; JUNIOR, 2009, p.988).

Conscientizar as pessoas de suas obrigações em proteger a natureza é algo importante, pois tal ação pode ocasionar uma mudança de comportamento nos indivíduos, minimizando pensamentos individualistas e passando a se pensar na coletividade (SILVA, 2012).

Respeitar o local em que vivemos é um dever que deve ser compartilhado com todos e um desses mecanismos que podem ser utilizados é através da educação ambiental. Segundo França (2003) podemos ter cuidado com aquilo que conhecemos e vivenciamos, precisamos ir a fundo nessa responsabilidade de cuidar daquilo que temos e essas atitudes têm que ser incentivadas desde a juventude dos indivíduos. As pessoas precisam ser informadas da destruição em massa que o planeta está passando, quem está fazendo isso e o quais as consequências para um futuro bem próximo. Além do mais eles precisam ser orientados sobre

o que eles podem fazer para mudar essa situação, garantindo assim a existência de gerações futuras.

A educação é um dos principais mecanismos por onde se devem passar os conhecimentos necessários para cuidar do ambiente em que se vive. A partir da forma como são trabalhadas essas informações, os alunos poderão ter meios facilitadores de preservar o meio ambiente de forma correta. A educação não é único pilar, cabe destacar a família como um outro ponto fundamental neste processo educativo. O seio familiar é um transmissor de exemplos e a depender do que forem repassado os jovens poderão apreender os exemplos familiares e escolares (SILVA, 2009).

Entender o papel que a escola tem frente à consciência do respeito mútuo entre o homem e meio ambiente é fundamental para as boas práticas educativas a cerca desse tema. A escola propicia o aluno a compreender e conhecer os problemas ambientais nos quais estamos passando, ajuda os mesmos a trabalhar conceitos de coletividade, valores, atitudes, postura, cuidado, algo imprescindível quando se quer chegar a mecanismos viáveis de vida sustentável (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A inserção da discussão sobre a problemática ambiental dentro do ambiente de formação dos alunos vai ajudar os mesmos a compreender a importância do meio para a nossa sobrevivência, bem como a enxergar novos horizontes de desenvolvimento, procurando minimizar os prejuízos causados pela crise ambiental que se verifica, fazendo os educandos entenderem o processo de saúde que também passa pelas interações entre seres humanos e natureza (CAMPONOGARA *et al.*, 2012).

A escola veicula as informações necessárias aos alunos acerca das questões ambientais existentes e ela atua de algumas maneiras como estabelecer o debate e a avaliação com toda equipe escolar com ideias e concepções acerca do meio ambiente, possibilitando às crianças e aos adolescentes que observem e se posicionem diante dos interesses e olhares existentes diante dos conflitos ambientais. É fundamental que os alunos conheçam a complexidade e altitude das diferentes relações existentes entre homem e natureza, facilitando assim reflexões sobre as ocupações e tratamentos dados a natureza por parte dos seres humanos e pautados nos valores políticos, sociais, econômicos, sociais e religiosos que estão inseridos. Os alunos devem desenvolver comportamento crítico que se preocupe com a coletividade e participar ativamente dentro da sociedade em políticas públicas e movimentos organizados que defendam o tema (RABELO, 2011).

3. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo exploratório descritivo de abordagem quantitativa o qual permite ter uma noção do que os alunos sabem sobre a situação ambiental em que se encontram, permitindo uma tomada de ação.

O referido estudo foi desenvolvido em uma escola da rede municipal de ensino de Maranguape/CE, uma instituição de ensino que fica localizado na zona semiárida e que portanto é muito afetada pelas mudanças climáticas e a maioria dos pais desses alunos tem agricultores na família que trabalham diretamente com a terra e pela falta de informações acabam fazendo um errôneo de aragem, prejudicando o solo e a plantação.

Foi aplicado um questionário contendo questões objetivas e abertas que abordaram as mudanças climáticas e aquecimento global e os interrogaram sobre a compreensão dos estudantes quanto a esta problemática e suas responsabilidades nesta questão.

Participaram da pesquisa um total de 57 estudantes, onde 27 cursam do 9º ano e 30 o 8º ano dos turnos da manhã e tarde de uma escola de ensino fundamental no município de Maranguape/CE.

A escolha deste público se deu ao fato de que é neste período da vida escolar que a temática em estudo é abordada junto estudantes. Além disso, a idade dos alunos compreende a faixa etária de 12 a 13 anos os quais estão em pleno processo de formação da mentalidade crítica favorecendo, portanto, o envolvimento destes com a problemática e sendo que nesses anos de ensino é que se trabalha o meio ambiente com mais afinco, como foi observado no livro didático da escola.

As pesquisas com seres humanos devem obedecer a critérios legais estabelecidos por lei, a equipe da pesquisa deve ser responsável por toda a assistência ao grupo de pessoas que estão participando e quando se trata da área da educação, quando é feito com alunos, é de extrema importância a elaboração do Termo de Esclarecimento Livre e Esclarecido (TCLE). É necessário utilizar métodos adequados de abordagem, de modo que não prevaleça nenhum grupo específico, ou seja, que não haja uma discriminação entre um grupo e outro, os recursos e materiais devem garantir o bem estar dos participantes, os resultados sempre que possível se traduzam em benefícios para as comunidades pesquisadas e os valores morais, éticos, religiosos e culturais devam ser respeitadas a fim de que os hábitos locais não sejam influenciados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário foi iniciado com duas perguntas relacionadas ao perfil dos alunos, sexo e idade, do total de 57 respondentes, 29 eram do sexo masculino e 28 do sexo feminino. A média de idade dos alunos foi de 13 anos.

Quando questionados sobre a definição de “aquecimento global”, cerca de 30% dos pesquisados não respondeu à pergunta e os demais (70%) trouxeram respostas relacionadas ao seu conceito como “aumento da temperatura” e outra grande parte registraram ideias relacionadas ao tema, especialmente quanto às suas causas, como: “queimadas” e “poluição”.

Outra pergunta era referente se os alunos consideravam o aquecimento global como um problema ambiental e 46% afirmaram que não, cometendo um grande equívoco. Tal resposta foi mais expressiva entre os alunos do 8º ano (53%) em que muitos disseram que nem ouviram falar sobre isso.

Pela falta de conhecimento a cerca do problema que foi apresentado aos alunos através do questionário, um grande percentual de alunos (44%) respondeu que os problemas ambientais não influenciavam em nada nas suas vidas, respostas contrárias ao que observamos no cotidiano.

Quanto à questão que tratou dos hábitos de vida dos alunos e sua relação com a produção do aquecimento global, a maioria (54%) disse que não era responsável por este fenômeno. Isto pode está relacionado à falta de conhecimento acerca do tema, já demonstrado anteriormente. Entretanto, dentre algumas justificativas, afirmaram que não faziam queimadas, não jogavam lixo na rua, só saía de casa para ir à escola, não eram pessoas materialistas. Os demais alunos (46%) responderam que “sim” e relacionaram o consumismo, a ausência de segregação do lixo, o uso de transporte particular em detrimento do transporte coletivo como atitudes adotadas pelos mesmo que contribuem para o aquecimento global.

Com isso, fica claro que as pessoas só cuidam e preservam aquilo que conhecem e além do trabalho de campo trazem enriquecimento didático para o aluno, também contribui para a educação enquanto cidadão (DOURADO, 2006).

Na pergunta onde foi questionado aos alunos se em algum momento já foi discutido ou falado sobre aquecimento global com eles, foi verificado que 30% dos alunos não ouviu falar sobre isso. Dos alunos do 9º ano 33% responderam que “não” contrariam a proposta

curricular escolar reforçada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais que apontam que esse tema relacionado ao meio ambiente já deveria ter sido debatido nessa idade escolar.

Na última pergunta foi questionado aos alunos se nas comunidades em que eles residem existem fatores que contribuem para o aquecimento global e 90% dos alunos responderam que “sim” e enumeraram alguns fatores tais como: queimadas, desmatamento, construção de casas em locais proibidos, acúmulo de lixo em alguns pontos do bairro, poluição industrial provocada por uma fábrica de grande porte que se localiza na comunidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados deste estudo nos permitem inferir que os alunos do 8º e 9º ano da escola investigada apresentam certo interesse nas questões ambientais, mas apresentam deficiente conhecimento acerca do tema “aquecimento global” e pouca percepção do mesmo como importante problema ambiental. Além disso, os alunos, em sua maioria (60%) não vincularam suas atitudes a contribuir com a ocorrência ou prevenção deste problema o que fragiliza ainda mais a adoção de medidas no âmbito da vida privada que contribuam para o controle do problema.

Assim, os dados revelam a necessidade de intervenções educativas junto aos estudantes do 8º e 9º ano de modo a favorecer maior consciência ambiental e adoção de comportamentos favoráveis ao cuidado do meio ambiente onde vive. Apesar das dificuldades encontramos um ambiente favorável para desenvolver a pesquisa e levantar as questões. Logo, acreditamos que se a educação ambiental for trabalhada de modo mais consistente a escola se constituirá como um caminho para transformações e os alunos como compartilhadores do conhecimento adquirido.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, E. B. **O que é ambiente?**. Amazonas, 2013. Disponível em: <http://blogs.d24am.com/educonomia/2013/06/16/o-que-e-ambiente/> Acesso em: 13 de set. 2015.
- CAMPONOGARA, S. *et al.* Responsabilidade ambiental na visão de acadêmicos da área da saúde. **Rev. enferm. UERJ**, v.20, n.01, p.39-44, 2012.
- DIAS, G. F. **Educação Ambiental – Princípios e Práticas**. 9ª ed. São Paulo: Gaia, 2004.
- DOURADO, L. F. **O público e o privado na agenda educacional brasileira**. In: FERREIRA, N.S.C.; AGUIAR, M.A.S. (Org.). *Gestão da educação: impasses, perspectivas e compromissos*. São Paulo: Cortez, 2006d.

- MIRANDA, D. J. P. Educação e percepção ambiental: o despertar consciente do saber ambiental para a ação do saber ambiental para a ação do homem na natureza. **Revista Eletrônica Mestre Educação Ambiental**. v.19, p.157-64, 2007.
- OLIVEIRA, M. D. S. *et al.* A importância da educação ambiental na escola e a reciclagem do lixo orgânico. **Revista científica eletrônica de ciências sociais aplicada da eduvale**, v. 5, n. 7, nov. 2012. Disponível em <http://www.eduvalesl.edu.br/site/edicao/edicao-87.pdf> Acesso em 01 de out. 2015.
- RABELO, C. A. **Preservação ambiental como a escola pode contribuir?** 2011 Disponível em [http://www.jornaldaeducacao.inf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=1435#myGallery1-picture\(10\)](http://www.jornaldaeducacao.inf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=1435#myGallery1-picture(10)) Acesso em 02 de out. 2015.
- RIBEIRO, W. C. **Patrimônio ambiental brasileiro**. São Paulo: Edusp, 2003. p. 91.
- RODRIGUES, C.; JUNIOR, L. Ecomotricidade: sinergia entre educação ambiental, motricidade humana e pedagogia dialógica. **Motriz**, v. 15, n. 4, p. 987-95, 2009. Disponível em <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/motriz/article/viewArticle/325> Acesso em 29 de set. 2015.
- ROSA, P.; CARVALHINHO, L. A. D. A educação ambiental e o desporto na natureza: uma reflexão crítica sobre os novos paradigmas da educação ambiental e o potencial do desporto como metodologia de ensino. **Porto Alegre**, v. 18, n. 03, p. 259-280, 2012.
- SILVA, A. G. D. **Educação Ambiental: Por quê? Para quê? Para quem?** 2009. Disponível em <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=735&> Acesso em 01 de out. 2015.
- SILVA, D. G. D. **A importância da educação ambiental para a sustentabilidade**. São Joaquim, 2012. Disponível em <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/DANISE-GUIMARAES-DA-SILVA.pdf> Acesso em 30 de set. 2015.
- SOUZA, J. A.; CUNHA, M. A.; COSTANTINO, M. T. G. S. A. **Ocupação Desordenada: O crescimento não planejado dos centros urbanos causa problemas como favelas, ocupação de morros e encostas e violência e degradação ambiental**. Revista Geografia, São Paulo. Disponível em <<http://conhecimentopratico.uol.com.br/geografia/mapas-demografia/30/artigo179305-1.asp>> Acesso em 13 de set. 2015.

CAPÍTULO III

QUEM TEM DIREITO À CIDADE VERDE? SOCIOLOGIA AMBIENTAL E AS CONTRADIÇÕES URBANAS EM CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

WHO HAS THE RIGHT TO THE GREEN CITY? ENVIRONMENTAL SOCIOLOGY AND URBAN CONTRADICTIONS IN CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-3

Rafael Bruno Leite Bezerra¹

Priscila Leandro Costa Lopes²

Wanielly Lopes dos Santos³

¹ Graduado em Direito pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestrando em Ciências Sociais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais da Universidade Federal de Campina Grande (PPGCS-UFCG).

² Graduada em Direito pelo Centro Universitário de Patos (UNIFIP). Mestranda em Ciências Sociais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais da Universidade Federal de Campina Grande (PPGCS-UFCG).

³ Graduada em Direito pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestranda em Ciências Sociais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais da Universidade Federal de Campina Grande (PPGCS-UFCG). Pós-graduanda em Direito do Trabalho e Direito Previdenciário pela Faculdade Legale.

RESUMO

Este artigo analisa criticamente as desigualdades socioambientais presentes nos bairros periféricos de Campina Grande, no estado da Paraíba, com base no referencial da Sociologia Ambiental e nos conceitos de justiça ambiental. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e interpretativa, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental de estudos sobre urbanização, legislação ambiental e ecologia política urbana. Partindo da compreensão de que o espaço urbano é socialmente produzido e seletivamente gerido pelo poder público, o trabalho demonstra como políticas urbanas e ambientais, quando aplicadas de modo fragmentado e excludente, intensificam a vulnerabilidade social e ecológica de territórios periféricos. A ausência de planejamento ecológico, a carência de infraestrutura verde e a inefetividade da legislação ambiental revelam a continuidade de um modelo de urbanização baseado na concentração de investimentos em áreas centrais e na invisibilização das periferias. O artigo conclui que a superação dessas desigualdades exige uma reorientação profunda das políticas públicas urbanas, pautadas por participação popular, equidade territorial e compromisso institucional com o direito à cidade e ao ambiente saudável.

Palavras-chave: Território. Sociologia Ambiental. Planejamento. Urbanização. Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

This article critically analyzes the socio-environmental inequalities present in the peripheral neighborhoods of Campina Grande, in the state of Paraíba, based on the framework of Environmental Sociology and the concepts of environmental justice. The research adopts a qualitative and interpretative approach, grounded in bibliographic review and documentary analysis of studies on urbanization, environmental legislation, and urban political ecology. Starting from the understanding that urban space is socially produced and selectively managed by public authorities, the study demonstrates how urban and environmental policies, when applied in a fragmented and exclusionary manner, intensify the social and ecological vulnerability of peripheral territories. The absence of ecological planning, the lack of green infrastructure, and the ineffectiveness of environmental legislation reveal the persistence of an urbanization model based on the concentration of investments in central areas and the invisibilization of the peripheries. The article concludes that overcoming these inequalities requires a profound reorientation of urban public policies, guided by popular participation, territorial equity, and institutional commitment to the right to the city and to a healthy environment.

Keywords: Territory. Environmental Sociology. Planning. Urbanization. Sustainable Development.



1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente urbanização dos centros urbanos brasileiros vem se configurando como um dos principais desafios à sustentabilidade socioambiental¹. Cidades de médio porte, como Campina Grande, na Paraíba, têm vivenciado um processo de expansão territorial marcado pela fragmentação socioespacial, pela escassez de planejamento urbano e pela concentração de investimentos em áreas centrais, em detrimento de bairros historicamente marginalizados.

Nesse cenário, as desigualdades no acesso à infraestrutura urbana básica, como saneamento², arborização, espaços verdes para lazer, segurança hídrica e serviços ambientais, tornam-se ainda mais visíveis nas periferias urbanas. Tais áreas, habitadas majoritariamente por populações empobrecidas, são marcadas por uma condição estrutural de vulnerabilidade que compromete diretamente a qualidade de vida de seus moradores e o pleno exercício do direito à cidade.

A análise dessas desigualdades exige um deslocamento paradigmático no modo de compreender as relações entre sociedade e natureza. É nesse ponto que a Sociologia Ambiental se apresenta como um campo teórico-crítico fundamental. Segundo Catton Jr. e Dunlap (1978), esse campo rompe com o Paradigma da Excepcionalidade Humana - antropocêntrico e dissociado das restrições ecológicas - ao propor o Novo Paradigma Ambiental, que reconhece as interações complexas entre sistemas sociais e ecossistemas, incorporando as limitações biofísicas do planeta à análise sociológica.

No contexto brasileiro, a Sociologia Ambiental tem se consolidado como área específica de conhecimento, resultado de um processo de institucionalização que passou por fases de crítica ao modelo de desenvolvimento predatório adotado sobretudo durante e após o período do “Milagre Econômico”.

¹ Segundo os dados do último Censo: Em 2022, do total de 203,1 milhões de pessoas da população brasileira, 177,5 milhões (87,4%) residiam em áreas urbanas, enquanto 25,6 milhões viviam em áreas rurais. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>

² Segundo dados coletados pelo IBGE em 2022, a cidade de Campina Grande tem 1.240 habitantes sem acesso a água, 25.323 habitantes sem esgoto, 9.602 habitantes sem coleta de lixo e 430 domicílios sujeitos a inundação. Vide: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pb/campina-grande>

Como afirma Bacchiegga (2013), essa consolidação foi impulsionada tanto pela emergência de movimentos socioambientais quanto pelo aprofundamento das desigualdades sociais e ecológicas, visíveis especialmente nos territórios urbanos populares.

A expansão desordenada das cidades, somada à lógica excludente da urbanização capitalista, produziu o que Henri Acselrad (2010) denomina de injustiça ambiental, situação em que grupos sociais vulnerabilizados, marcados por recortes de classe, raça e território, são sistematicamente mais expostos a riscos ambientais e menos contemplados por políticas públicas de proteção, prevenção e mitigação dos danos.

Nesse cenário, é fundamental considerar que o discurso do “desenvolvimento urbano sustentável” tem operado muitas vezes como um dispositivo ideológico, mais voltado à construção de consensos do que à transformação estrutural.

Como observa Prado (2015), a noção de cidade sustentável, amplamente difundida no planejamento urbano contemporâneo, tem sido marcada por uma crescente imprecisão conceitual, que permite sua apropriação por diferentes atores públicos e privados, sem que haja, de fato, enfrentamento das causas das desigualdades socioambientais.

Assim, ao mesmo tempo em que se afirma a preocupação com as gerações futuras, os conflitos presentes são frequentemente despolitizados, e os interesses de mercado passam a ser revestidos com uma retórica de responsabilidade ambiental.

Campina Grande não escapa ao quadro acima desenhado. Estudos como o de Araújo *et al.* (2019) demonstram que a cidade, embora tenha se modernizado, apresenta um padrão de crescimento urbano não planejado que vem comprometendo sua cobertura vegetal e acentuando os contrastes entre áreas centrais e periféricas.

Logo, o avanço das edificações sobre áreas antes verdes, a perda de vegetação e a ausência de políticas integradas de sustentabilidade são fenômenos que afetam diretamente a saúde ambiental da cidade e a qualidade de vida da população.

Assim, o presente artigo tem como objetivo central problematizar a realidade socioambiental dos bairros periféricos de Campina Grande, com base em uma análise sociológica crítica. Por meio do aporte teórico da Sociologia Ambiental e do conceito de justiça ambiental, propõe-se discutir como a ausência de planejamento urbano sustentável e a seletividade das políticas ambientais aprofundam as desigualdades já existentes, negando aos moradores das áreas marginalizadas o direito a viver em um ambiente saudável, seguro e digno.

Assim, ao iluminar essas questões, espera-se contribuir para a construção de uma abordagem mais equitativa e crítica sobre os desafios urbanos no semiárido nordestino.

2. METODOLOGIA

Este artigo insere-se no campo das ciências sociais aplicadas e adota uma abordagem qualitativa, de natureza interpretativa e crítica, voltada à análise das desigualdades socioambientais nas periferias urbanas de Campina Grande. A investigação fundamenta-se no pressuposto de que os fenômenos sociais não podem ser compreendidos apenas por meio de dados empíricos brutos ou estatísticas isoladas, mas exigem uma análise contextual, relacional e teórica, como orienta o pensamento sociológico crítico.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa parte de uma estratégia de análise documental e bibliográfica, mobilizando fontes acadêmicas e institucionais que tratam tanto da formação do campo da Sociologia Ambiental quanto das dinâmicas urbanas em Campina Grande. A seleção dos materiais teóricos baseou-se em textos reconhecidos no campo da Sociologia Ambiental, como os de Catton Jr. e Dunlap (1978), Acseirad (2010), Bacchiagga (2013), Prado (2015), Denaldi e Ferrara (2018), entre outros autores.

A perspectiva adotada assume que os espaços urbanos são socialmente produzidos, como argumenta Lefebvre (1999), e que as relações entre natureza e sociedade são mediadas por conflitos de classe, território e poder. Nesse sentido, o trabalho dialoga também com a tradição da ecologia política, que busca compreender como os recursos naturais e os territórios são apropriados, disputados e transformados a partir de interesses econômicos e decisões estatais (Porto; Henriques, 2012).

A cidade de Campina Grande no Estado da Paraíba foi adotada como recorte empírico, tendo em vista seu papel como polo regional no semiárido nordestino e sua configuração urbana marcada por contrastes espaciais intensos.

A análise recai, em especial, sobre os bairros periféricos e sobre o caso da ocupação do Tambor e o reassentamento compulsório de suas famílias no bairro do Velame, à luz dos conceitos de justiça ambiental, desigualdade territorial e ausência seletiva do Estado.

A análise dos dados secundários foi realizada com base em documentos acadêmicos e relatórios que tratam da cobertura vegetal, do processo de urbanização e da eficácia da legislação ambiental em Campina Grande. Um dos critérios adotados para a seleção dessas

fontes foi o rigor analítico e a capacidade de contribuir para a compreensão crítica da realidade socioambiental local.

A abordagem metodológica está ancorada na noção de que a pesquisa qualitativa, ao privilegiar a compreensão dos sentidos, dos contextos e das relações de poder, permite interpretar os espaços urbanos não apenas como objetos físicos, mas como expressões concretas de desigualdades históricas e institucionais.

Conforme Minayo (2012), a análise qualitativa “interpreta os fenômenos e atribui-lhes significados a partir das relações, representações, crenças e práticas das pessoas no seu cotidiano”. Este princípio orientou a estrutura analítica do trabalho.

Por fim, cabe destacar que a construção do artigo foi orientada por categorias analíticas como “injustiça ambiental”, “territorialização da vulnerabilidade”, “segregação urbana” e “planejamento seletivo”, permitindo a articulação entre os dados empíricos e os referenciais teóricos que embasam a crítica sociológica à produção desigual das cidades brasileiras.

3. SOCIOLOGIA AMBIENTAL, URBANIZAÇÃO E DESIGUALDADES TERRITORIAIS EM CAMPINA GRANDE

A Sociologia Ambiental é um campo do pensamento sociológico que se consolida como resposta às limitações do paradigma antropocêntrico dominante nas ciências sociais. A partir dos anos 1970, autores como Catton Jr. e Dunlap (1978) propuseram o Novo Paradigma Ambiental, sustentando que a sociedade deve ser compreendida em sua interdependência com o meio ambiente, reconhecendo os limites ecológicos e as consequências socioambientais da ação humana.

No Brasil, essa perspectiva foi ampliada por autores como Bacchiagga (2013), que ressaltam a importância de se pensar a questão ambiental atrelada às desigualdades sociais, econômicas e territoriais.

Ao transpor essa abordagem para o campo das cidades, a Sociologia Ambiental aproxima-se da crítica ao modelo de urbanização vigente nos países periféricos, caracterizado por processos de crescimento desordenado, segregação socioespacial e precarização da infraestrutura nos territórios periféricos.

Como observa Acseirad(2010), às populações vulneráveis são historicamente mais expostas a riscos ambientais, em razão da ocupação de áreas de risco, da ausência de serviços públicos e da invisibilização das suas demandas. Essas práticas produzem aquilo que o autor

denomina de injustiça ambiental, uma forma estrutural de negação do direito à cidade e à proteção ambiental.

Nesse ponto, a crítica proposta por Prado (2015) ao conceito de “desenvolvimento urbano sustentável” oferece um importante reforço teórico. Para o autor, a crescente adesão a esse discurso, aparentemente consensual, mascara disputas políticas e interesses econômicos, ao passo que esvazia os conflitos reais que atravessam o espaço urbano. Ao se tornar um “mito mobilizador”, a sustentabilidade urbana opera como linguagem estratégica: sua imprecisão conceitual permite que diferentes atores a mobilizem em nome da harmonia entre crescimento, justiça social e preservação ambiental, ainda que na prática tais promessas não se concretizem, sobretudo nos territórios periféricos.

Assim, o uso do termo “sustentável” frequentemente se converte em um mecanismo de legitimação de intervenções urbanas que reproduzem desigualdades.

A cidade de Campina Grande no Estado da Paraíba, importante centro urbano do interior nordestino, manifesta com clareza os efeitos desse modelo excludente de urbanização. Ao longo de sua história recente, o município experimentou uma expansão urbana acelerada, marcada por profundas desigualdades na oferta de infraestrutura urbana, saneamento, mobilidade e áreas verdes.

Como demonstra Araújo *et al.* (2019), há uma tendência clara de perda de cobertura vegetal e de adensamento populacional em áreas periféricas, sem o devido acompanhamento de políticas públicas voltadas à sustentabilidade urbana.

Um exemplo concreto dessa dinâmica pode ser observado no caso da ocupação do Tambor, localizada na zona oeste da cidade. Trata-se de um assentamento informal consolidado ao longo dos anos por famílias de baixa renda, carentes de acesso à moradia digna e à infraestrutura urbana.

A ocupação se encontrava em condições de intensa vulnerabilidade ambiental e social: ausência de saneamento, proximidade com áreas alagadiças, insalubridade e dificuldades de acesso aos serviços básicos. A posterior transferência compulsória de parte dessas famílias para o bairro do Velame, promovida sob a justificativa de “regularização fundiária” e “requalificação urbana”, evidenciou os limites da atuação estatal em termos de justiça socioambiental.

Ainda que as autoridades alegassem que o novo local apresentasse algumas melhorias em termos de infraestrutura física, o deslocamento forçado desconsiderou os vínculos sociais

e afetivos dos moradores com o território original, além de reproduzir uma lógica de periferização.

O Velame, apesar de ter sido “vendido” como planejado, ainda padece da carência de equipamentos públicos, transporte adequado, arborização e espaços de lazer, mostrando que o remanejamento territorial não veio acompanhado de políticas amplas de inclusão urbana e ambiental. Como destacam Denaldi e Ferrara (2018), não basta garantir habitação formal: é preciso pensar a cidade como um espaço de justiça ambiental, onde todos tenham acesso equitativo aos bens urbanos e à qualidade de vida.

Do ponto de vista da sociologia ambiental, o caso Tambor-Velame é exemplar para pensar a articulação entre política urbana, exclusão territorial e sustentabilidade. A descontinuidade de políticas públicas, a ausência de planejamento ecológico e a lógica da segregação espacial agravam a vulnerabilidade dos grupos já marginalizados, naturalizando a ideia de que há espaços e populações menos merecedoras de proteção ambiental.

Como afirma Henri Acselrad (2010), às políticas de “ambientalização seletiva”, ou seja, aquelas que impõem restrições ambientais aos mais pobres enquanto liberam áreas valorizadas para exploração imobiliária, são mecanismos sutis, porém efetivos, de injustiça ambiental.

Nesse contexto, a crítica de Prado (2015) adquire centralidade: o discurso sustentável, quando não acompanhado de mudanças estruturais, serve como instrumento de legitimação simbólica de políticas excludentes, funcionando mais como retórica de apaziguamento do que como motor de transformação. Ao mesmo tempo em que se prometem cidades mais verdes e inclusivas, a realidade vivida nas periferias urbanas, revela a permanência de uma lógica de exclusão socioambiental travestida de modernização ecológica.

Portanto, a reflexão sociológica sobre Campina Grande precisa considerar essas experiências vividas nos territórios. A cidade, embora seja vendida como tecnológica e universitária, mantém em seu tecido urbano zonas de precariedade que evidenciam a persistência de uma urbanização desigual, insustentável e, muitas vezes, silenciosamente violenta. Analisar essas realidades a partir da Sociologia Ambiental significa reconhecer que a questão ambiental é também uma questão de classe, de território e de justiça social.

3.1. DESIGUALDADES AMBIENTAIS E URBANAS NAS PERIFERIAS: ENTRE O DISCURSO E A AUSÊNCIA DO ESTADO

Ante o exposto, observa-se que em Campina Grande, as desigualdades ambientais se materializam de forma contundente na paisagem urbana. Embora a cidade concentre centros universitários, polos tecnológicos e infraestrutura consolidada em áreas centrais, a maior parte da população de baixa renda habita bairros periféricos marcados pela precarização dos serviços públicos, escassez de áreas verdes e ausência de planejamento ambiental.

Essa geografia seletiva do investimento público evidencia que o acesso à cidade e aos seus benefícios continua sendo distribuído de forma desigual e excludente.

Territórios como o Mutirão¹, o Tambor², a Ramadinha³, a Catingueira⁴ e o Velame⁵ ilustram essa realidade. A cobertura vegetal é escassa ou inexistente, as ruas frequentemente não são pavimentadas e a infraestrutura de saneamento é deficiente ou inexistente.

A arborização urbana, essencial para a regulação térmica e a qualidade de vida, encontra-se ausente, o que agrava os impactos ambientais em uma cidade situada no semiárido. Os moradores convivem com esgoto a céu aberto, descarte irregular de resíduos e carência de espaços públicos de lazer. Esses elementos são evidentes sinais de negligência e expressões de um modelo de urbanização que opera com base na exclusão.

No entanto, a ausência do poder público não significa a passividade dos moradores. Pelo contrário, é nesse vácuo que emergem potentes estratégias de resistência e resiliência comunitária. Em bairros como o Mutirão e o Velame, a população se organiza para enfrentar coletivamente os desafios cotidianos. São comuns as práticas de mutirão para a limpeza de terrenos baldios, a abertura de pequenas valas para escoamento de água e até mesmo o reparo de vias não pavimentadas, uma forma de ação coletiva historicamente presente nas periferias brasileiras para a produção do espaço urbano⁶.

Como alerta Prado (2015), é nesse tipo de contexto que o discurso do desenvolvimento urbano sustentável adquire função simbólica: ao invés de enfrentar as contradições

¹ Localização ><https://maps.app.goo.gl/k5654AnrbiU533uZ9><

² Localização ><https://maps.app.goo.gl/a9LDqhxQNcsSNpcY6><

³ Localização ><https://maps.app.goo.gl/eyPein3uCK2PJpvh9><

⁴ Localização ><https://maps.app.goo.gl/jWGcrU1R4ADHfXRu9><

⁵ Localização ><https://maps.app.goo.gl/YSpgG1Yuxr9GxYfQ8><

⁶ GOHN, M. da G. Movimentos sociais na contemporaneidade. Revista Crítica de Ciências Sociais, n. 93, 2011.

estruturais da cidade, esse discurso atua como um mito mobilizador, operando com base em uma linguagem vaga e consensual que permite ocultar os conflitos reais da urbanização desigual. Assim, mesmo diante de territórios marcados pela carência ambiental, a retórica da sustentabilidade é usada para legitimar ações públicas que, muitas vezes, não promovem justiça ambiental nem inclusão socioespacial efetiva.

A transferência de famílias da ocupação do Tambor para o bairro do Velame revela como essas desigualdades são reproduzidas sob a lógica da regularização formal, sem transformação estrutural.

Embora o reassentamento tenha ocorrido sob o discurso da requalificação urbana, o novo bairro não foi dotado de condições adequadas de mobilidade, arborização, lazer e acesso digno à água. A política habitacional, dissociada de um projeto urbano sustentável, não garantiu justiça socioambiental. Como explica Acseirad:

“disputas de legitimidade instauram-se, concomitantemente, na busca de caracterizar as diferentes práticas como ambientalmente benignas ou danosas. Nessas disputas em que diferentes atores sociais ambientalizam seus discursos, ações coletivas são esboçadas na constituição de conflitos sociais incidentes sobre esses novos objetos” (Acseirad, 2010, p. 103).

Essa crítica está profundamente relacionada à forma como as políticas públicas se manifestam de forma desigual no território urbano. No caso de Campina Grande, esse desequilíbrio se expressa na ausência de ações estruturais nos bairros populares. Como identificaram Araújo *et al.*, ao analisarem imagens de satélite da cidade:

“as perdas de vegetação foram reconhecidas em toda a área urbana. Portanto, Campina Grande mostra um padrão de tendência: o crescimento urbano não planejado é responsável por mudanças no ambiente físico e na forma e estrutura espacial da cidade, o que reflete sobre as pessoas e sua qualidade de vida” (Araújo; Silva; Machado, 2019, p. 386).

Esse tipo de crescimento urbano desordenado, ainda segundo os autores, ocorre sem considerar a sustentabilidade ambiental como princípio norteador da expansão da cidade. A carência de políticas públicas voltadas às áreas de menor renda reforça a segregação ambiental.

Silva (2012), ao examinar os instrumentos normativos de gestão ambiental urbana em Campina Grande, também aponta que:

“há um conjunto significativo de leis aprovadas pelo poder legislativo municipal que não foram regulamentadas e, portanto, não foram aplicadas, em especial nas áreas periféricas”(Silva, 2012, p. 48).

A ausência do Estado em áreas periféricas de Campina Grande não se limita à infraestrutura. Ela também se expressa na ineficácia das políticas ambientais existentes. Enquanto bairros centrais recebem arborização, manutenção e infraestrutura urbana contínua, os bairros de menor visibilidade política enfrentam o descaso institucional.

Entretanto, mesmo diante desse quadro de negligência, os moradores dessas regiões constroem estratégias de enfrentamento e resistência. As práticas de mutirão, as hortas comunitárias improvisadas e os cuidados coletivos com os espaços comuns são expressões da ação coletiva em contextos de vulnerabilidade. Essas ações podem ser compreendidas como “artes da resistência”, nas quais grupos subalternos, mesmo sem o confronto direto, criam formas cotidianas de desafiar a lógica excludente e afirmar seu direito de existir e permanecer no território. São táticas que, embora muitas vezes invisibilizadas, demonstram uma agência política e uma capacidade de ressignificar espaços degradados,¹ transformando-os em lugares de vida e sustento. Como destacam Denaldi e Ferrara:

“a urbanização de favelas requer uma abordagem integrada que considere simultaneamente os aspectos sociais, econômicos e ambientais, rompendo com práticas setoriais que historicamente fragmentaram a política urbana brasileira” (Denaldi; Ferrera, 2018, p. 1).

Esse rompimento exige mais que obras: requer a formulação e implementação de políticas territoriais que combinem justiça ambiental, direito à cidade e dignidade urbana. A realidade de Campina Grande mostra que a segregação ambiental é produzida socialmente e pode ser revertida apenas com participação democrática e compromisso redistributivo do poder público.

3.2. PARA ALÉM DO DIAGNÓSTICO: POLÍTICAS PÚBLICAS E O DESAFIO DA JUSTIÇA SOCIAL

A análise da realidade socioambiental de Campina Grande evidencia que a desigualdade na distribuição dos recursos urbanos e ambientais não decorre apenas da informalidade ou do “crescimento desordenado”, mas também de decisões políticas que historicamente privilegiam determinados territórios em detrimento de outros.

¹ SCOTT, J. C. Domination and the Arts of Resistance: Hidden Transcripts. Yale University Press, 1990.

Nessa perspectiva, a lógica da produção desigual da cidade se reproduz tanto na omissão quanto na seletividade da ação estatal. Bairros periféricos como o Velame, mesmo quando inseridos em programas de reassentamento e regularização fundiária, continuam à margem das prioridades urbanísticas e ecológicas.

Como discutido por Acselrad (2010), o conceito de justiça ambiental permite compreender que os riscos, as carências e os danos ambientais não estão igualmente distribuídos. Pelo contrário, são direcionados a grupos vulnerabilizados - social, econômica e racialmente - por meio de um conjunto de mecanismos institucionais, normativos e territoriais que sustentam um modelo de cidade funcional à acumulação e à exclusão. O autor enfatiza que:

“a conexão forte entre as questões ambiental e a econômica havia sido subestimada durante a fase inicial de constituição de entidades que remetiam à proteção do meio ambiente” (Acselrad, 2010, p. 105).

Em Campina Grande, essa conexão é visível tanto na ausência de políticas ambientais efetivas nos bairros periféricos quanto na concentração de investimentos e infraestrutura nas zonas centrais e de maior valor imobiliário. A negligência com as áreas de menor renda perpetua a condição de precariedade urbana e naturaliza a exclusão ambiental como um dado da realidade.

Superar esse cenário exige que o planejamento urbano e ambiental seja orientado por princípios de equidade, sustentabilidade e participação popular. Conforme propõem Almeida *et al.* (2024), o desenvolvimento urbano sustentável requer estratégias integradas:

“como gestão do uso do solo, transporte público eficiente, eficiência energética e gestão de resíduos [...] pilares essenciais do desenvolvimento urbano sustentável” (Almeida *et al.*, 2024, p. 1).

No caso específico das áreas periféricas de Campina Grande, isso significa: garantir arborização urbana planejada, implantar equipamentos públicos de lazer e convivência, assegurar abastecimento hídrico regular e universalizar o acesso ao saneamento básico. Mais do que isso, requer romper com o modelo de planejamento de cima para baixo e criar instâncias reais de escuta e deliberação com os moradores desses territórios.

Outra dimensão crucial é o reconhecimento das práticas sociais já existentes. Os moradores dos bairros populares não são passivos diante da ausência do Estado, ao contrário, organizam mutirões, criam redes de cuidado e ressignificam espaços. Essas ações, no entanto,

não devem ser tratadas como substitutas das obrigações públicas, mas como sinalizações de demandas urgentes e caminhos possíveis. Como afirmam Denaldi e Ferrara:

“a abordagem integrada da urbanização de favelas deve considerar os saberes locais e a participação dos moradores nos processos decisórios, evitando intervenções exógenas que não dialogam com as dinâmicas dos territórios” (Denaldi; Ferrera, 2018, p. 4).

Portanto, o desafio não é apenas técnico ou orçamentário: é político. Exige enfrentar as estruturas que mantêm os bairros periféricos fora dos mapas de investimento urbano e da agenda ambiental municipal. Reverter essa lógica demanda vontade política, planejamento com justiça redistributiva e um compromisso institucional com os princípios da justiça ambiental.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo partiu da proposta de analisar criticamente as desigualdades socioambientais presentes nos bairros periféricos de Campina Grande no Estado da Paraíba, com base no referencial da Sociologia Ambiental e da justiça ambiental. Ao problematizar os efeitos do modelo urbano excludente que estrutura a cidade, evidenciou-se como a ausência de planejamento integrado, a seletividade das políticas públicas e o silenciamento dos sujeitos periféricos têm produzido territórios marcados pela precarização ambiental.

Campina Grande, embora se destaque no cenário nordestino por sua importância tecnológica e universitária, reproduz internamente uma lógica de desigualdade espacial e ecológica.

A análise empírica dos bairros populares, especialmente no caso do reassentamento do Tambor para o Velame, demonstrou que a formalização da moradia não é suficiente quando não se vincula a um projeto urbano com justiça social e sustentabilidade ambiental.

Como indicaram os estudos aqui mobilizados, os territórios populares seguem sendo impactados pela omissão do poder público e por uma visão fragmentada da cidade, que prioriza zonas centrais e mercantilizadas.

Nesse sentido, a crítica de Prado (2015) ao conceito de desenvolvimento urbano sustentável reforça a necessidade de ultrapassar as promessas genéricas e apaziguadoras do discurso institucional. Para o autor, a noção de sustentabilidade urbana, ao operar como um mito moderno, é mobilizada para gerar consenso e legitimidade em projetos que, muitas vezes, não enfrentam os conflitos reais da cidade desigual.

Assim, ao ocultar disputas de classe, território e acesso aos bens urbanos, essa retórica acaba despolitizando o planejamento urbano e enfraquecendo sua capacidade transformadora. No caso de Campina Grande, isso se expressa na persistência de políticas setoriais e na ausência de medidas estruturais voltadas à justiça ambiental das periferias.

A Sociologia Ambiental, ao articular natureza e sociedade, mostrou-se um instrumento analítico potente para compreender a produção das desigualdades ambientais no contexto urbano. Ao reconhecer que o meio ambiente não é neutro nem universalmente acessado, o campo evidencia que sua degradação e proteção obedecem à lógica de poder, de classe, de raça e de território.

Por fim, é necessário reafirmar que a superação desse quadro exige uma inflexão política e institucional. A justiça ambiental não se resume a mitigar danos, mas a reconhecer direitos e redistribuir oportunidades. Isso passa pela reconfiguração do planejamento urbano com base na equidade territorial, na escuta ativa das comunidades e na implementação efetiva de políticas públicas voltadas à sustentabilidade das periferias urbanas. Reconhecer o direito à cidade, nesse contexto, implica ir além do acesso a serviços e infraestrutura; significa, como defende David Harvey, reconhecer o direito dos cidadãos de “mudar a si mesmos, mudando a cidade”. Trata-se de valorizar os saberes e as práticas que emergem das lutas cotidianas nos territórios, entendendo-os não como carência, mas como potência e alternativa para um futuro urbano mais justo e democrático para todos.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. **Ambientalização das lutas sociais – o caso do movimento por justiça ambiental**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 103-119, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000200008>.
- ALMEIDA, H. K. A. M. et al. **Sustentabilidade urbana**: desafios e soluções para um ambiente habitável. Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT, Itapeva, v. 8, n. 1, maio 2024.
- ARAÚJO, E. D. S.; SILVA, J. B.; MACHADO, C. C. C. **Análise das mudanças ambientais na cidade de Campina Grande-PB utilizando técnica de detecção de mudança**. OKARA: Geografia em Debate, João Pessoa, v. 13, n. 2, p. 386-401, 2019. Disponível em: <http://www.okara.ufpb.br>. Acesso em: 03 ago. 2025.
- BACCHIEGGA, F. **Desvendando as abordagens da Sociologia Ambiental**: revisão de artigos selecionados. Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 4, n. 2, p. 118-137, jul./dez. 2013.

- DENALDI, R.; FERRARA, L. N. **A dimensão ambiental da urbanização em favelas**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 21, 2018. Artigo Original. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329783176>. Acesso em: 03 ago. 2025.
- GOHN, M. da G. Movimentos sociais na contemporaneidade. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, 2011.
- GOMES, F. O. **Injustiça ambiental e racismo ambiental nas favelas do Rio de Janeiro: um olhar para o risco e a vulnerabilidade para (re)pensar as políticas públicas**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- HARVEY, D. **O Direito à Cidade**. Lutas Sociais, n. 29, p. 73-89, 2012.
- MINAYO, M. C. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.
- PRADO, A. L. **Desenvolvimento urbano sustentável: de paradigma a mito**. Oculum Ensaios, Campinas, v. 12, n. 1, p. 83-97, jan./jun. 2015.
- SCOTT, J. C. **Domination and the Arts of Resistance: Hidden Transcripts**. Yale University Press, 1990.
- SILVA, P. A. **A legislação municipal direcionada ao meio ambiente em Campina Grande nos últimos 10 anos**. 2012. 82 f. Monografia (Especialização em Gestão Pública Municipal) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

CAPÍTULO IV

GOVERNANÇA E MARCO LEGAL DA QUALIDADE DO AR NO BRASIL: EVOLUÇÃO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

ENVIRONMENTAL GOVERNANCE AND LEGAL FRAMEWORK FOR AIR QUALITY IN BRAZIL: EVOLUTION, CHALLENGES, AND PERSPECTIVES

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-4

Igor de Farias Silva ¹

Alysson Matheus Pimentel de Moraes ²

Christiano Cantarelli Rodrigues ³

Daniele Vital Vich ⁴

Manoel Mariano Neto ⁵

¹ Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Alagoas – UFAL

² Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS). Universidade Federal de Alagoas – UFAL

³ Professor do Centro de Tecnologia (CTEC). Universidade Federal de Alagoas – UFAL

⁴ Professora do Centro de Tecnologia (CTEC). Universidade Federal de Alagoas – UFAL

⁵ Professor do Centro de Tecnologia (CTEC). Universidade Federal de Alagoas – UFAL

RESUMO

A qualidade do ar é fundamental para a saúde pública e a preservação ambiental. No Brasil, o marco legal evoluiu gradualmente, influenciado por compromissos internacionais e demandas internas. Este estudo analisa a trajetória das normativas federais e da governança ambiental, desde a Política Nacional do Meio Ambiente (1981) até a Política Nacional de Qualidade do Ar (2024). Destacam-se avanços como a integração de diretrizes nacionais, ampliação do monitoramento e metas progressivas. Persistem desafios quanto à capacidade institucional, cooperação entre entes federados, uso de tecnologias e participação social. O futuro da gestão da qualidade do ar no Brasil exigirá a consolidação de mecanismos de cooperação entre União, Estados e Municípios, a integração com a agenda de mudança do clima, e a incorporação de inovações tecnológicas.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Poluição atmosférica. Política ambiental. Governança Ambiental.

ABSTRACT

Air quality is fundamental to public health and environmental preservation. In Brazil, the legal framework has evolved gradually, influenced by international commitments and domestic demands. This study analyzes the trajectory of federal regulations and environmental governance, from the National Environmental Policy (1981) to the National Air Quality Policy (2024). Advances include the integration of national guidelines, expanded monitoring, and progressive targets. Challenges remain regarding institutional capacity, cooperation among federal entities, the use of technologies, and social participation. The future of air quality management in Brazil will require the consolidation of cooperation mechanisms between the Federal Government, States, and Municipalities, integration with the climate change agenda, and the incorporation of technological innovations.

Keywords: Air quality. Air pollution. Environmental policy. Environmental governance.

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é uma preocupação global crescente, impulsionada tanto pela intensificação das mudanças climáticas quanto pela deterioração da qualidade de vida humana. Estima-se que aproximadamente 99% da população mundial esteja exposta a níveis de poluentes superiores aos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (OPAS, 2022).

Os impactos na saúde pública são alarmantes: mais de 7 milhões de mortes anuais são atribuídas à poluição do ar no mundo (OMS, 2014), sendo que cerca de 92% desses óbitos ocorrem em países de baixa e média renda, afetando desproporcionalmente grupos socioeconômicos vulneráveis (Landrigan et al., 2018). Além disso, a OMS (2014) destaca que, globalmente, a poluição atmosférica causa cerca de cinco vezes mais mortes do que o tabagismo passivo. Rahaman et al. (2022) reforçam que o aumento das concentrações de poluentes está diretamente ligado às intensas atividades humanas, como a produção industrial, comprometendo a saúde e o bem-estar da população.

Os impactos econômicos da poluição atmosférica também são significativos. Landrigan et al. (2018) apontam que doenças relacionadas à poluição reduzem a produtividade e podem causar perdas de até 2% do Produto Interno Bruto (PIB) em países em desenvolvimento. No Brasil, estima-se um prejuízo anual de cerca de US\$ 1,7 bilhão, decorrente da redução da produtividade laboral e do aumento das mortes prematuras nas 29 regiões metropolitanas (Abe; Miraglia, 2016). Sant’Anna et al. (2021) ressaltam que as queimadas permanecem como a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) no país, agravando os impactos econômicos e ambientais.

No âmbito do controle da poluição atmosférica, o Brasil dispõe do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), instituído pela Resolução CONAMA nº 5/1993. Este programa estabelece limites para a emissão de poluentes, visando preservar a qualidade do ar e garantir o cumprimento dos padrões estabelecidos (BRASIL, 1993). Entretanto, sua base legal se apoiava, até recentemente, em normas infralegais, como resoluções e decretos, o que limitava sua efetividade (Sant’Anna et al., 2021). Embora o PRONAR definisse diretrizes para a gestão da qualidade do ar, não estipulava prazos obrigatórios para sua implementação.

A Resolução CONAMA nº 491/2018 complementou esse arcabouço, atribuindo aos órgãos ambientais estaduais e distritais a responsabilidade pela fiscalização e monitoramento

da qualidade do ar (BRASIL, 2018). Contudo, foi somente com a promulgação da Lei nº 14.850/2024 que o país passou a contar com um marco legal mais robusto e abrangente: a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr).

Dessa maneira, a poluição atmosférica transcende a esfera ambiental, configurando-se como um problema sistêmico que compromete a saúde pública, a economia e o desenvolvimento sustentável. Conforme Landrigan et al. (2018), trata-se de um desafio transfronteiriço que exige ações coordenadas e prioridade nas agendas políticas em todos os níveis governamentais.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a trajetória das normativas federais e da governança ambiental, desde a Política Nacional do Meio Ambiente (1981) até a Política Nacional de Qualidade do Ar (2024).

2. ANÁLISE DAS NORMATIVAS FEDERAIS PARA QUALIDADE DO AR

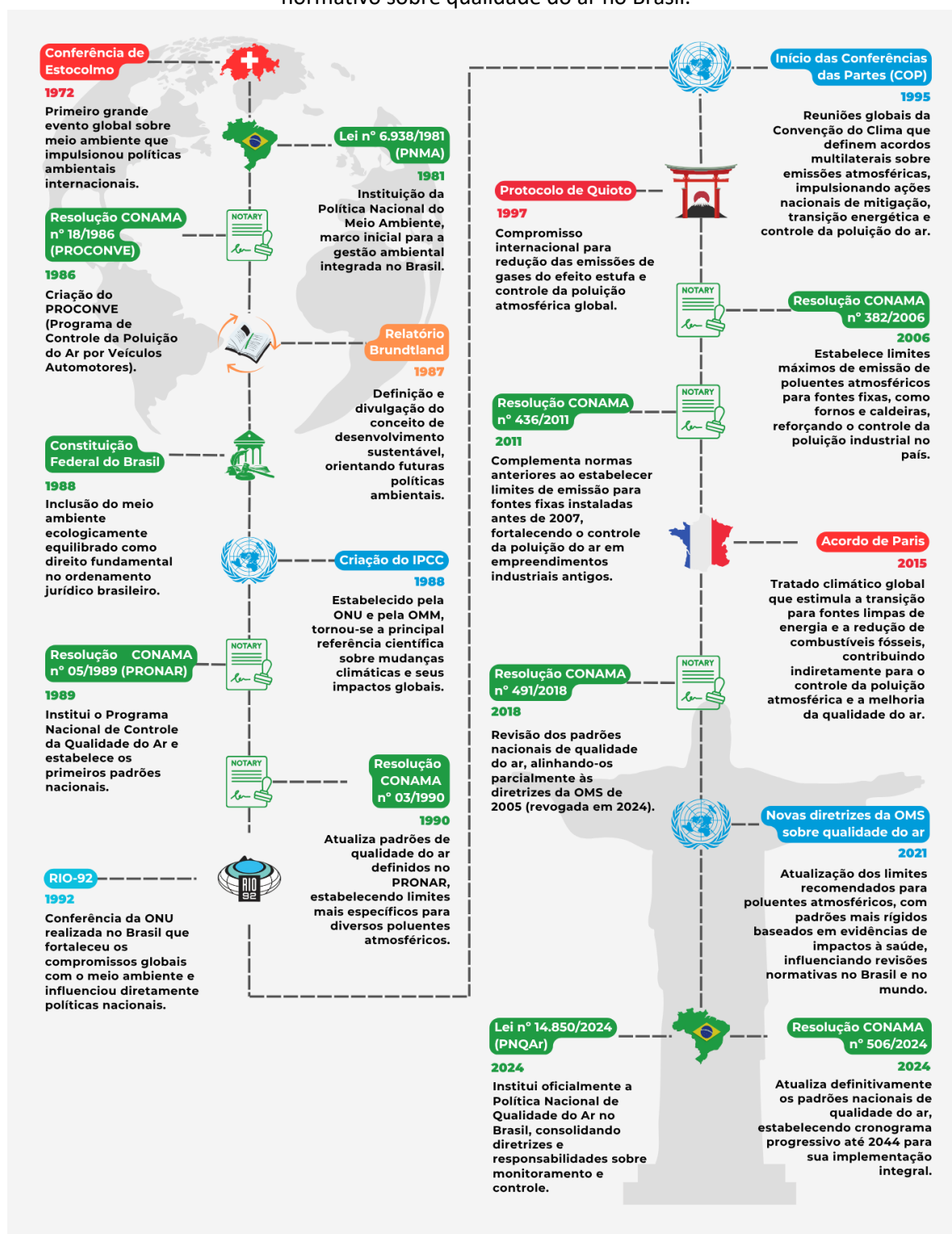
2.1. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DAS NORMATIVAS FEDERAIS

A política ambiental brasileira teve início na década de 1930, antes mesmo da criação de normas específicas para o controle da qualidade do ar. Conforme Moura (2016), sua evolução no século XX foi impulsionada por pressões internacionais, como as de organizações multilaterais, e pelo fortalecimento do movimento ambientalista nacional. Esse processo resultou em dispositivos legais que buscavam equilibrar a proteção ambiental com demandas sociais e econômicas, adaptando-se às exigências nacionais e internacionais.

A estrutura normativa federal voltada especificamente para a qualidade do ar emergiu na década de 1980, com a Lei nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), marco legal fundamental para o planejamento, fiscalização e controle ambiental no país (Vormittag et al., 2021; Medeiros, 2022). A PNMA precedeu a Constituição Federal de 1988 e estabeleceu mecanismos essenciais para o monitoramento ambiental e promoção da sustentabilidade.

A linha do tempo ilustrada na Figura 1 sintetiza os principais marcos que influenciaram a formulação e o desenvolvimento do arcabouço normativo relacionado à qualidade do ar no Brasil. Essa análise panorâmica evidencia que a consolidação desse conjunto regulatório foi significativamente condicionada por influências internacionais, dinâmicas socioambientais internas e avanços legislativos específicos, os quais conjuntamente moldaram a trajetória da política ambiental nacional.

Figura 1 - Marcos históricos, políticos e legais que influenciaram a construção do arcabouço normativo sobre qualidade do ar no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tais elementos contribuíram para consolidar um aparato legal heterogêneo, que avança graças às medidas pontuais, muitas vezes impulsionado por crises ou por compromissos assumidos em fóruns internacionais, mas que busca uma visão ampla e

abrangente sobre a problemática ambiental no Brasil. Essa contextualização oferece a base para a análise das principais normativas federais sobre qualidade do ar.

No Brasil, conforme a Constituição Federal, a competência ambiental é compartilhada entre as esferas administrativa e legislativa, com poderes específicos para fiscalização, sanção e elaboração de normas. A União detém competência administrativa exclusiva para determinadas áreas (art. 21), enquanto a competência comum é exercida conjuntamente por União, Estados, Distrito Federal e Municípios (art. 23, VI), promovendo a cooperação na gestão ambiental (Brasil, 1988).

A PNMA também instituiu o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão responsável por normatizar o licenciamento ambiental de atividades poluidoras, promovendo a coordenação entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental (Brasil, 1981). O CONAMA estabelece critérios e normas que garantem o controle efetivo das atividades com potencial impacto ambiental, constituindo instrumento central da governança ambiental.

2.2. ESTRUTURA LEGAL ATUAL PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DO AR

Em 1989, o CONAMA deu um passo significativo com a Resolução nº 5, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), estabelecendo os primeiros padrões nacionais de qualidade do ar (Silva; Vieira, 2017). Esta resolução traz em seu corpo que o padrão de qualidade do ar pode ser dividido entre primários e secundários.

Nas décadas seguintes, a Resolução CONAMA nº 3/1990 ampliou e atualizou os padrões de qualidade do ar, estabelecendo limites para diversos poluentes (Brasil, 1990). Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 491/2018 revisou esses padrões nacionais, alinhando-os às diretrizes da Organização Mundial da Saúde (Brasil, 2018). Além disso, as resoluções do CONAMA relacionadas ao tema definem prerrogativas importantes para a regulação das atividades humanas potencialmente poluidoras, estabelecendo padrões mínimos necessários à preservação da qualidade do ar (Quadro 1).

Quadro 1 - Conjunto de resoluções do Conama que abordam a qualidade do ar.

Resolução CONAMA	Descrição
nº 18/1986	Cria o Programa de controle de emissões veiculares (Proconve).
nº 5/1989	Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (Pronar).

Resolução CONAMA	Descrição
nº 3/1990	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar previstos no Pronar.
nº 8/1990	Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa em fontes fixas de poluição.
nº 297/2002	Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos e cria o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT).
nº 382/2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.
nº 418/2009	Estabelece critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV) e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente.
nº 436/2011	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação, anteriores a 2 de janeiro de 2007.
nº 491/2018	Estabelece novos padrões nacionais de qualidade do ar, definindo limites máximos para poluentes atmosféricos a serem implementados de forma gradual. Determina o monitoramento contínuo e a apresentação anual de relatórios pelos órgãos ambientais estaduais e distritais. Prevê ainda a elaboração de planos de controle de emissões e estratégias para manejo de episódios críticos.
nº 506/2024	A Resolução CONAMA nº 506/2024 estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e orientações para sua implementação, com o objetivo de proteger a saúde pública e o meio ambiente.

Fonte: Adaptado Moura (2016) e Tavella *et al.* (2024). Elaborado pelos autores, 2025.

2.3. INSTRUMENTOS E MECANISMOS DE MONITORAMENTO E CONTROLE

Os instrumentos normativos visam estabelecer limites e controlar a poluição atmosférica, assegurando a proteção da saúde humana e do meio ambiente. Esses limites foram definidos pelo IBAMA e aprovados pelo CONAMA, conforme estabelecido na Resolução nº 491/2018 (Brasil, 2018; Medeiros, 2022).

Além dos limites para os poluentes, a Resolução CONAMA nº 491/2018, em seu Anexo III, institui níveis de alerta para episódios de poluição severa. Esses níveis de alerta têm como objetivo prevenir riscos à saúde pública durante períodos críticos de elevada concentração poluente. Detalhes sobre esses níveis encontram-se sistematizados na tabela correspondente (Quadro 2) (Batista *et al.*, 2021).

Quadro 2 - Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes atmosféricos.

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 800	≥ 1.600	≥ 2.100
Partículas totais em suspensão (PTS) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 375	≥ 625	≥ 875
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 65.000	≥ 261.000	≥ 393.000
Monóxido de carbono (ppm) – 8 h	≥ 15	≥ 30	≥ 40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 h	$\geq 400^*$	≥ 800	$\geq 1.000^{**}$
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	≥ 1.130	≥ 2.260	≥ 3.000

Fonte: Brasil (2018).

De acordo com Tavella et al. (2024), o Brasil historicamente adotou os padrões internacionais de qualidade do ar com certo atraso, como evidenciado pela implementação, em 2018, dos limites recomendados pela OMS em 2005. Contudo, em 2024, a Resolução CONAMA nº 506/2024 foi publicada, estabelecendo cronogramas específicos para o cumprimento das metas de qualidade do ar.

2.4. DESAFIOS E LIMITAÇÕES DAS NORMATIVAS FEDERAIS

Apesar dos avanços ao longo do tempo, a gestão da qualidade do ar permaneceu, até recentemente, fundamentada principalmente em legislações legais e infralegais (Sant’anna et al., 2021). Esse quadro foi alterado em 2024 com a promulgação da Lei nº 14.850/2024. Além das resoluções, outras legislações, de forma direta ou indireta, também contribuem para a gestão da qualidade do ar, conforme detalhado no Quadro 3.

Quadro 3 - Legislação que por sua natureza interdisciplinar contribuem com a gestão da qualidade do ar.

Lei	Descrição
Decreto-Lei nº 2.848/1940 Código Penal (art. 252)	Crimes de poluição, definido na lei das contravenções penais e crime de poluição.

Lei	Descrição
Decreto-Lei nº 3.688/1941 Lei das Contravenções Penais (art. 38)	
Decreto-Lei nº 1.413/1975	Adota critérios de nível de emissões atmosféricas de poluentes para classificação de zonas industriais.
Lei nº 6.803/1980 Lei de zoneamento industrial	
Lei nº 8.080/1990	Dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde e sobre a organização do SUS.
Lei nº 9.478/1997	Regula a política energética nacional.
Lei nº 10.257/2001	Regulamenta o Estatuto da Cidade.
Lei nº 10.650/2003	Dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama.

Fonte: Araújo Júnior (2016) e Sant’anna *et al.* (2021). Elaborado pelos autores, 2025.

As leis e decretos relacionados evidenciam a complexidade da gestão da qualidade do ar, regulada por instrumentos jurídicos provenientes de diferentes ramos do direito, incluindo o penal, saúde pública, urbanístico, energético e regulatório industrial. Até recentemente, essa gestão era caracterizada por fragmentação e descentralização, carecendo de uma política nacional específica, conforme apontado por Vormittag *et al.* (2021). Essa realidade passou a ser transformada com a criação da Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr), instituída pela Lei nº 14.850/2024, que visa estabelecer uma abordagem integrada para a gestão da qualidade atmosférica em âmbito nacional (Brasil, 2024).

2.5. AVANÇOS RECENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A PNQAr definiu uma estrutura normativa abrangente para a gestão da qualidade do ar no território brasileiro, estabelecendo princípios, objetivos e instrumentos necessários para sua efetiva implementação. Os objetivos previstos no Artigo 4º da Lei nº 14.850/2024 estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Análise dos objetivos da PNQAr.

Referência	Objetivos	Análise
Art.4º, Inciso I	Assegurar preservação da saúde pública, do bem-estar e da qualidade ambiental para as presentes e futuras gerações	Esse objetivo está alinhado com o artigo 225 da Constituição, que define o meio ambiente equilibrado como um direito fundamental, sendo responsabilidade do Poder Público e da coletividade garanti-lo (Brasil, 1988).

Referência	Objetivos	Análise
Art.4°, Inciso II	O monitoramento adequado da qualidade do ar	De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA (2022), o PRONAR previu o estabelecimento de uma rede básica de monitoramento da qualidade do ar.
Art.4°, Inciso III, V	Fomentar a pesquisa científica aplicada à tecnologia e à inovação; Propor e estimular a adoção, o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias limpas, com vistas à proteção da saúde e à melhoria da qualidade do ar.	Os incisos III e V interrelacionam-se ao promover a pesquisa científica voltada para a tecnologia e inovação, alinhando-se com legislações nacionais que incentivam o desenvolvimento científico e tecnológico.
Art.4°, Inciso IV	Reduzir progressivamente as emissões e as concentrações de poluentes atmosféricos	O princípio da progressividade está ancorado no art. 10 da PNQAr, que estabelece critérios técnicos, econômicos e ambientais para a fixação de limites de emissão. A previsão de metas graduais reflete uma abordagem realista, permitindo a adaptação dos setores produtivos.
Art.4° Inciso VI	Alinhar-se com as políticas de combate à mudança do clima	A articulação entre a política de qualidade do ar e as estratégias climáticas é essencial, dado que os poluentes atmosféricos frequentemente incluem gases de efeito estufa (GEE). A integração entre essas agendas evita sobreposição de esforços e potencializa os co-benefícios ambientais.
Art.4°, Inciso VII	Assegurar o acesso amplo a dados e informações públicas atualizadas de monitoramento e de gestão da qualidade do ar	A transparência e a democratização da informação ambiental são asseguradas pela Lei nº 10.650/2003 (Araújo júnior, 2016). A publicidade dos dados é um instrumento de controle social e essencial à participação cidadã na governança ambiental.
Art. 4°, Inciso VIII	Fortalecer a gestão da qualidade do ar nos órgãos e nas entidades que integram o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama)	A gestão integrada exige a ampliação da capacidade institucional dos entes federados, com investimento em infraestrutura, capacitação técnica e interoperabilidade de sistemas. Essa diretriz também reforça a importância da descentralização cooperativa prevista na PNMA.

Fonte: Brasil (1988; 2024); Araujo Junior (2016); IEMA (2022); Elaborado pelos autores, 2025.

A Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr) tem como objetivo integrar as diversas legislações estaduais e resoluções do CONAMA, promovendo uma abordagem coordenada para o monitoramento e controle da poluição atmosférica em todo o território brasileiro. Conforme Tavella et al. (2024), a PNQAr aplica-se a todas as entidades responsáveis pela gestão da qualidade do ar, controle da poluição e emissão de poluentes atmosféricos.

Um aspecto central da legislação é a ampliação da rede de monitoramento da qualidade do ar, abrangendo não apenas áreas urbanas, mas também regiões com atividades emissoras significativas e outras áreas de risco identificadas (Brasil, 2024). Essa estratégia está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas.

Os instrumentos previstos na PNQAr (Quadro 5), conforme o artigo 5º, incluem a criação de sistemas de monitoramento, a promoção de ações educativas e a adoção de medidas para controle e mitigação da poluição atmosférica. A política também enfatiza a articulação entre os diferentes níveis governamentais e a participação da sociedade civil, visando uma gestão integrada e eficaz da qualidade do ar em âmbito nacional.

Quadro 5 - Análise dos Instrumentos da PNQAr e demais legislações nacionais e internacionais.

Referência	Instrumentos	Síntese
Art. 5º, Inciso I	Os limites máximos de emissão atmosférica	Define limites obrigatórios para fontes poluidoras, representando um avanço no controle ambiental, embora sua eficácia dependa da revisão periódica e fiscalização adequada (Brasil, 2018).
Art. 5º, Inciso II	Os padrões de qualidade do ar	Estabelece metas nacionais com base nas diretrizes da OMS de 2022. Apesar do avanço, a implementação será gradual até 2044, o que pode postergar os efeitos positivos esperados (Brasil, 2024; OMS, 2022).
Art. 5º, Inciso III	O monitoramento da qualidade do ar	Torna o monitoramento obrigatório e fortalece a gestão baseada em evidências. Entretanto, a infraestrutura ainda é insuficiente em diversos estados (IEMA, 2022).
Art. 5º, Inciso IV	O inventário de emissões atmosféricas	Exigência de inventários de emissões está presente em regulamentos ambientais como o Pronar, sendo um instrumento essencial para a gestão da qualidade do ar. Nesse sentido, a PNQAr está alinhada com diretrizes internacionais, como o Protocolo de Quioto (1997) e o Acordo de Paris (2015), que exigem que países signatários mantenham inventários detalhados de emissões de gases do efeito estufa.

Referência	Instrumentos	Síntese
Art. 5º, Inciso V	Os planos, os programas e os projetos setoriais de gestão da qualidade do ar e de controle da poluição por fontes de emissão	Estimula o planejamento setorial para reduzir a poluição atmosférica, mas seu sucesso depende da articulação entre os entes da federação e da execução contínua.
Art. 5º, Inciso VI	Os modelos de qualidade do ar, os estudos de custo-efetividade e a proposição de cenários	Apoia decisões com base em simulações e cenários futuros. No entanto, o uso de modelos ainda é limitado no país por barreiras técnicas, como a carência de dados e capacitação, e por entraves institucionais que dificultam sua adoção na gestão pública (Brasil, 2024).
Art. 5º, Inciso VII	Os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde, bem como os órgãos colegiados estaduais e municipais destinados ao controle social	Instrumento previsto para fortalecer a governança participativa. Na prática, porém, muitos conselhos enfrentam desafios relacionados à baixa representatividade social e à limitada capacidade de influência nas decisões ambientais (Brasil, 2024; Ferreira; Fonseca, 2014).
Art. 5º, Inciso VIII	O Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr)	Centraliza e divulga dados sobre a qualidade do ar, promovendo transparência. Contudo, ainda enfrenta limitações técnicas e operacionais, como baixa cobertura geográfica e dificuldade na operação contínua das estações (Brasil, 2024; IEMA, 2022).
Art. 5º, Inciso IX	Os incentivos fiscais, financeiros e creditícios	Cria mecanismos de incentivo econômico à adoção de tecnologias limpas, mas a aplicação prática depende de regulamentações claras e coordenação intersetorial.
Art. 5º, Inciso X	O Fundo Nacional do Meio Ambiente, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológica.	Embora haja previsão de recursos para o monitoramento e controle da qualidade do ar, sua efetivação esbarra em entraves burocráticos e disputas orçamentárias internas, que afetam diretamente a aplicação das políticas públicas ambientais (Borinelli; Guandalini; Baccaro, 2017).

Fonte: Brasil (2018; 2024); OMS (2022); IEMA (2022); Ferreira; Fonseca (2014); Borinelli; Guandalini; Baccaro (2017); Elaborado pelos autores, 2025.

Apesar dos avanços normativos recentes, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos na implementação de políticas relacionadas à qualidade do ar. Antes da criação da Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr), estudos já identificavam deficiências estruturais, como

a limitada cobertura das redes de monitoramento e a insuficiência de dados confiáveis para apoiar decisões estratégicas (Vormittag et al., 2021).

A PNQAr responde a essas lacunas ao estabelecer diretrizes nacionais que dependem da cooperação entre União, Estados e Municípios. Essa abordagem descentralizada visa adequar as ações às especificidades regionais, ampliando a eficácia das políticas ambientais (Brasil, 2024).

Entre os desafios ainda presentes destacam-se a necessidade de modernizar a infraestrutura de monitoramento e promover a capacitação contínua dos profissionais responsáveis pela execução e fiscalização, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 506/2024. Nesse contexto, a PNQAr representa um avanço significativo na consolidação da gestão ambiental, com potencial para promover melhorias na saúde pública e na sustentabilidade.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das normativas federais voltadas à qualidade do ar no Brasil evidencia um percurso marcado por avanços graduais, influenciado por compromissos internacionais, pressões sociais e pela necessidade de mitigar impactos ambientais e à saúde pública. Desde a instituição da Política Nacional do Meio Ambiente, em 1981, até a promulgação da Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr), em 2024, observa-se a transição de um arcabouço fragmentado, baseado majoritariamente em resoluções e decretos, para um marco legal mais robusto e abrangente.

A PNQAr representa um salto qualitativo na governança ambiental ao integrar diretrizes nacionais, estabelecer metas progressivas e ampliar a cobertura de monitoramento, alinhando-se às melhores práticas internacionais e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. No entanto, sua efetividade dependerá de fatores estruturantes: fortalecimento da capacidade institucional dos entes federados, aprimoramento técnico das redes de monitoramento, garantia de recursos financeiros sustentáveis e incentivo à participação social nos processos decisórios.

Nesse sentido, o futuro da gestão da qualidade do ar no Brasil exigirá a consolidação de mecanismos de cooperação entre União, Estados e Municípios, a integração das agendas de qualidade do ar e mudança do clima, e a incorporação de inovações tecnológicas que permitam decisões baseadas em evidências. Assim, a implementação plena da PNQAr não

apenas contribuirá para a redução da poluição atmosférica, mas também promoverá ganhos expressivos em saúde pública, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABE, Karina Camasnie; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. *Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.l.], v. 13, n. 7, p. 694, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph13070694>.
- ARAÚJO JÚNIOR, Antônio Carlos Ribeiro. *Contribuições dos sistemas de informação ambiental (sias) no processo de licenciamento ambiental: o caso do promaben, Belém-PA*. **Geo UERJ**, n. 29, p. 491-510, 2016. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/22297/19577>. Acesso em: 30 agosto. 2024.
- BATISTA, Bárbara Alves; LIMA, Rafael Nunes; SANTOS, Jaqueline da Silva; RODRIGUES, Jéssica Sampaio; SANTOS, Amanda Pimentel. *Avaliação da expansão urbana na cidade de Maceió, Alagoas – Nordeste do Brasil*. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 10, n. 11, p. e253101119537, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19537>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19537>. Acesso em: 9 maio 2025.
- BORINELLI, B.; GUANDALINI, N. N.; BACCARO, T. A. Os gastos ambientais dos estados brasileiros: uma análise exploratória. **Revista do Serviço Público**, [S.l.], v. 68, n. 4, p. 807–834, 2017.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990*. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no § 2º do art. 1º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, DF, 1990. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 7 mar. 2024.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**, Edição 223, 21 nov. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em: 6 mar. 2024.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 5, de 5 de agosto de 1993. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 166, p. 12996-12998, 31 ago. 1993.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, 16 jun. 1989.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua

aplicação, visando à proteção da saúde e do meio ambiente. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 jul. 2024.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. [S.l.]: [s.n.], 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 2 set. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. Dispõe sobre a Política Nacional de Qualidade do Ar. Brasília, DF: **Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos**, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14850.htm. Acesso em: 7 maio 2025.

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. [S.l.: s.n.], 1981. Disponível em: http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%206.938-1981?OpenDocument. Acesso em: 7 maio 2025.

FERREIRA, C. M. S.; FONSECA, A. *Análise da participação popular nos Conselhos Municipais de Meio Ambiente do Médio Piracicaba (MG)*. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 239–258, jul./set. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/9WVFkgTqQ563fP3P5pMH8NR/>. Acesso em: 12 maio 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Recomendações para a expansão e a continuidade das redes de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. São Paulo: **IEMA**, 2022. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/07/IEMA_policypaper_qualidadedoar.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

LANDRIGAN, Philip James et al. *The Lancet Commission on pollution and health*. **The Lancet**, [S.l.], v. 391, n. 10119, p. 462–512, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0). Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(17\)32345-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(17)32345-0/fulltext). Acesso em: 9 maio 2025.

MEDEIROS, Ana Mayara Andriola. *A qualidade do ar no Brasil – ordem e progresso?* Salvador: **Editora Licuri**, 2022. p. 77–89.

MOURA, Adriana Maria Magalhães de. *Aplicação dos instrumentos de política ambiental no Brasil: avanços e desafios*. In: MOURA, Adriana Maria Magalhães de (org.). *Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas*. Brasília: **IPEA**, 2016. p. 111–145. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6800>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). *Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre*. Brasília: **OPAS/OMS**, 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 6 mar. 2024.

- RAHAMAN, Saidur; JAHANGIR, Selim; CHEN, Ruishan; KUMAR, Pankaj. *Restricted anthropogenic activities and improved urban air quality in China: evidence from real-time and remotely sensed datasets using air quality zonal modeling*. **Atmosphere**, [S.l.], v. 13, n. 6, p. 961, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/6/961>. Acesso em: 26 fev. 2024.
- SANT'ANNA, André et al. *O estado da qualidade do ar no Brasil*. São Paulo: **WRI Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/o-estado-da-qualidade-do-ar-no-brasil>. Acesso em: 7 mar. 2024.
- SILVA, Alexandre Fernando; VIEIRA, Carlos Alexandre. *Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras*. **Ciência e Sustentabilidade**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 166–189, 2017.
- TAVELLA, Ronan Adler et al. *A new dawn for air quality in Brazil*. **The Lancet Planetary Health**, [S.l.], v. 8, p. e717–e718, 2024. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00203-1](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00203-1). Disponível em: [http://crossmark.crossref.org/dialog/?doi=10.1016/S2542-5196\(24\)00203-1&domain=pdf](http://crossmark.crossref.org/dialog/?doi=10.1016/S2542-5196(24)00203-1&domain=pdf). Acesso em: 13 jan. 2025.
- VORMITTAG, Evangelina da Motta Pacheco de Araújo et al. *Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil*. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 125–146, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fbCFjRbBRhf4M5F6xQVrbfR/>. Acesso em: 12 maio 2025.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *7 million premature deaths annually linked to air pollution*. [S.l.]: **WHO**, 2014. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>. Acesso em: 25 fev. 2024.

CAPÍTULO V

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS NAS RESERVAS EXTRATIVISTAS DE CORUMBAU E CASSURUBÁ: DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIO-ENVIRONMENTAL CONFLICTS IN THE EXTRACTIVE RESERVES OF CORUMBAU AND CASSURUBÁ: CHALLENGES FOR CONSERVATION AND SUSTAINABILITY

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-5

Tânia Mara de Souza Pires¹
Mariana Ferreira dos Santos²
Paulo Gualberto Sousa Pires³
Frederico Monteiro Neves⁴
Márcia Nunes Bandeira Roner⁵

¹ Mestra em Ciências e Sustentabilidade. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade - UFSB

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade - UFSB

³ Pós-Graduação em Direito Tributário - FIJ

⁴ Docente do Centro de Formação em Desenvolvimento Territorial. Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB.

⁵ Docente Titular do Centro de Formação em Desenvolvimento Territorial. Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB.

RESUMO

A pesquisa realiza uma análise comparativa dos conflitos socioambientais nas Reservas Extrativistas (Resex) de Corumbau e Cassurubá, localizadas no Extremo Sul da Bahia. O estudo contextualiza a criação dessas reservas como resultado de lutas históricas de comunidades tradicionais contra a exploração predatória de recursos e projetos de grande escala, como a pesca industrial e a carcinicultura. A pesquisa detalha os desafios específicos de cada área. Na Resex de Corumbau, os conflitos atuais estão relacionados à falta de delimitação terrestre, à pesca predatória externa e, principalmente, às tensões causadas pelo turismo desordenado e pela gentrificação. Já na Resex de Cassurubá, os problemas concentram-se na especulação imobiliária, na falta de saneamento básico e na fragilidade da governança local, além do desafio histórico com as operações portuárias. O artigo conclui que, embora as reservas tenham sido uma vitória para a conservação, ambas sofrem com a falta de apoio governamental, o que dificulta a fiscalização e a implementação de políticas públicas. A comparação entre as duas Resexs revela uma diferença temporal nos desafios - Corumbau

enfrenta questões mais complexas, enquanto Cassurubá ainda luta para superar deficiências básicas de infraestrutura, evidenciando a necessidade urgente de um planejamento mais eficaz para garantir a sustentabilidade e a dignidade das comunidades extrativistas.

Palavras-chave: Reservas Extrativistas (Resex). Conflitos Socioambientais. Conservação Ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The research conducts a comparative analysis of socio-environmental conflicts in the Corumbau and Cassurubá Extractive Reserves (Resex), located in southern Bahia. The study contextualizes the creation of these reserves as a result of historical struggles by traditional communities against predatory resource exploitation and large-scale projects, such as industrial fishing and shrimp farming. The research details the specific challenges of each area. In the Corumbau Resex, current conflicts are related to the lack of land boundaries, predatory fishing, and, primarily, tensions caused by uncontrolled tourism and gentrification. In the

Cassurubá Resex, the problems focus on real estate speculation, the lack of basic sanitation, and the fragility of local governance, in addition to the historical challenge of port operations. The article concludes that, although the reserves were a victory for conservation, both suffer from a lack of consistent government support, which hinders oversight and the implementation of public policies. A comparison between the two Extractive Reserves reveals a difference in the challenges faced over

time - Corumbau faces more complex issues, while Cassurubá still struggles to overcome basic infrastructure deficiencies - highlighting the urgent need for more effective planning to ensure the sustainability and dignity of extractive communities.

Keywords: Extractive Reserves (Resex). Socio-environmental Conflicts. Environmental Conservation. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A exploração desordenada dos recursos naturais e a consequente diminuição desses recursos provocaram mobilizações sociais significativas, especialmente entre as populações extrativistas. Na Amazônia, no final da década de 1980, seringueiros e sindicalistas se uniram para lutar não apenas pela floresta, mas contra um modelo de desenvolvimento que os excluía. Essas lutas deram origem ao conceito de Reserva Extrativista (Resex), um modelo de unidade de conservação que garante o direito coletivo sobre os recursos naturais, promovendo a autonomia e a dignidade das comunidades tradicionais (Costa *et al.*, 2018).

Diante disso, as Resexs começaram a ser implantadas nos Estados do Acre, Amapá e Rondônia, mais precisamente em 1989, inaugurando uma nova forma de atividade extrativista, fruto das batalhas e das conquistas de muitos seringueiros que protestavam contra a derrubada da floresta e o avanço das pastagens (Allegretti, 1994). Segundo Oliveira (2003), a força motriz para criação das Resexs se deu com a percepção da importância estratégica da manutenção das práticas tradicionais de exploração para o alcance das expectativas relacionadas com a sustentabilidade ecológica e cultural.

Desse modo, as Resexs passaram a ser regulamentadas pela Lei nº 7.804/1989 e pelo Decreto nº 98.987/1990. Posteriormente, em nova evolução normativa, a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, instituiu o Sistema Nacional de Conservação da Natureza (SNUC), estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. As Reservas Extrativistas são consideradas parte do grupo das Unidades de Uso Sustentável, onde é permitida a populações extrativistas tradicionais retirarem o sustento para sua subsistência. O Decreto Federal assegurou como objetivos básicos da Resex a função de proteger os meios de vida e a cultura das populações e garantir o uso sustentável dos recursos naturais (ICMBio, 2009).

A região costeira do Sul da Bahia se utiliza dos recursos marinhos, antes mesmo da chegada dos portugueses ao Brasil, os povos originários que aqui residiam, tiravam seu sustento do mar (Bucci, 2009). A partir da década de 1980, grandes embarcações, com avanços tecnológicos, começaram a chegar à região, e os pescadores da Ponta de Corumbau e as localidades vizinhas notaram um forte declínio dos recursos marinhos, passando a ser uma ameaça para a pesca artesanal realizada pelos povos tradicionais residentes no localidade, pois com o aumento do número de barcos que vinham de outras regiões, a pesca local começou a diminuir, tornando a pesca insuficiente para o sustento das famílias locais (De Moura *et al.*, 2009).

Outro conflito significativo ocorreu na região de Caravelas, onde, no início dos anos 2000, houve tentativas de implantar fazendas de camarão em áreas costeiras. Na região estuarina entre Caravelas e Nova Viçosa, a Cooperativa de Criadores de Camarão do Extremo Sul da Bahia (Coopex) propôs um projeto, cujo investimento inicial seria de R\$ 60 milhões, para implantação de carcinicultura em uma área de 1.500 hectares, entre os rios Macaco e Massangano. Numa região onde, na época, aproximadamente 300 famílias ribeirinhas (cerca de 2.450 pessoas) retiravam seu sustento da pesca, da captura artesanal de crustáceos e moluscos (Dias; Soares; Neffa, 2012).

A introdução da carcinicultura, que requer a transformação de manguezais em tanques de cultivo, encontrou forte resistência de ambientalistas e comunidades ribeirinhas. Esses grupos argumentavam que a destruição dos manguezais prejudicaria a pesca artesanal, base econômica e de subsistência de muitas famílias, além de degradar o ecossistema. A mobilização social foi fundamental para impedir a expansão dessa atividade e impulsionou as comunidades a lutar pela criação de unidades de conservação locais (Nicolau *et al.*, 2006).

Nesse contexto que as comunidades tradicionais da região uniram forças. Em 21 de setembro de 2000, foi criada a Reserva Extrativista Marinha de Corumbau (Bucci, 2009). Mais tarde, em 5 de junho de 2009, o Decreto Presidencial nº 12.058 estabeleceu a Reserva Extrativista de Cassurubá (Brasil, 2009). Ambas as reservas visam garantir a conservação dos recursos naturais e o sustento das populações extrativistas.

O objetivo da pesquisa é analisar e comparar os conflitos socioambientais enfrentados pelas Reservas Extrativistas (Resex) de Corumbau e Cassurubá, a fim de identificar os desafios para a conservação e a sustentabilidade dessas áreas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESERVA EXTRATIVISTA MARINHA DE CORUMBAU

A Resex Corumbau está localizada a 800 km da capital Salvador, no Extremo Sul baiano, situada entre a Praia de Curuípe (conhecida como Praia do Espelho), em Porto Seguro, e a Praia das Ostras, em Prado. Possui uma área de aproximadamente 90.000 hectares, abrangendo um cinturão marinho de oito milhas náuticas. Situada na Região dos Abrolhos, a área é um berçário de grande diversidade de espécies marinhas e recifes de corais, incluindo espécies raras e ameaçadas de extinção (ICMBio, 2021).

A Resex Corumbau (Figura 1) foi criada a partir da luta de pescadores e indígenas Pataxó contra a exploração indevida por agentes externos, fortalecendo a permanência e os meios de vida das comunidades locais. Sua população extrativista é composta majoritariamente por indígenas Pataxó e seus descendentes. A comunidade vê a reserva como uma oportunidade para a gestão dos recursos pesqueiros e para o desenvolvimento social e cultural, fortalecendo sua identidade (Brasil, 2023).

Figura 1 - Reserva Extrativista de Corumbau



Fonte: Minuta do Plano de Manejo da Resex Corumbau (2023).

Nota: Mapa de localização da Resex Corumbau, municípios de Prado e Porto Seguro-BA.

O processo de gestão da Resex Corumbau tem um histórico de planejamento participativo. O primeiro Plano de Utilização foi aprovado em 2002, já demonstrava a importância de envolver a comunidade local no manejo da área (Brasil, 2002). Entre 2008 e 2009, esse processo foi intensificado com a elaboração da primeira fase do Plano de Manejo que contou com diversas ações de mobilização social, como oficinas e seminários. Através

dessas iniciativas, os pescadores tradicionais tiveram a oportunidade de contribuir para a definição das diretrizes de gestão da Resex, garantindo, assim, a compatibilização entre a conservação da biodiversidade e a manutenção de seus meios de vida.

Após esse período, o processo de elaboração do Plano de Manejo ficou parado até 2016, somente em 2017 o processo foi retomado. Em 2018, a comunidade da Resex, em parceria com uma consultoria, e o ICMBio realizaram um processo participativo de revisão do Plano de Utilização da UC, e através de reuniões, encontros e uma assembleia geral, os extrativistas discutiram e aprovaram novas regras e normas para o manejo da área. As propostas foram analisadas tecnicamente pelo ICMBio que as direcionou para o documento mais adequado, como o Plano de Manejo da Reserva Extrativista Marinha do Corumbau (Brasil, 2023).

Assim, o propósito da Resex Corumbau é:

No extremo Sul da Bahia, onde se avista o Monte Pascoal e se encontra grande diversidade de vidas, saberes e culturas originárias, foi criada a Reserva Extrativista Marinha do Corumbau, a partir da luta de pescadores e indígenas contra a exploração indevida da região por barcos e pessoas de fora das comunidades locais, fortalecendo a permanência e meios de vida de suas populações tradicionais e garantindo a conservação da biodiversidade marinha (Brasil, 2023).

Há cadastradas cerca de 650 famílias extrativistas que vivem nas comunidades de Curuípe, Nova Caraíva, Caraíva, Aldeias indígenas de Barra Velha e Bujigão, Corumbau, Veleiro, Imbassuaba (Figura2) e Cumuruxatiba (ICMBio, 2021).

Figura 2 - Vista aérea da Praia de Imbassuaba em Cumuruxatiba



Fonte: Paulo Isaque Souza Pires.

Grande parte dos extrativistas está reunida em três associações: Associação da Reserva Extrativista Marinha do Corumbau (Aremaco), com sede na Ponta do Corumbau; Associação dos Pescadores de Cumuruxatiba, com sede em Cumuruxatiba e a Associação dos Pescadores Artesanais e Amigos da Costa do Descobrimento, com sede em Imbassuaba (Brasil, 2023).

2.2. RESERVA EXTRATIVISTA MARINHA DE CASSURUBÁ

A Reserva Extrativista de Cassurubá (Figura 3) abrange uma área aproximada de 100.578.378 hectares na região costeiro-marinha dos municípios de Caravelas, Nova Viçosa e Alcobaça, no Extremo Sul da Bahia, começou a ser criada em abril de 2007. Sua criação foi impulsionada pela Associação dos Marisqueiros de Ponta de Areia e Caravelas (Ampac), visando proteger os vastos manguezais e outros ecossistemas locais. O Instituto Chico Mendes reconheceu a importância de salvaguardar legalmente esse ambiente, que sustenta aproximadamente 1.358 famílias de pescadores artesanais e marisqueiras (ICMBio, 2019).

Figura 3- Limites da Resex de Cassurubá e sua zona de amortecimento



Fonte: Plano de manejo da Resex de Cassurubá, 2018.

Em Caravelas, uma proposta de implementação de empreendimento de carcinicultura encontrava-se em processo de licenciamento desde 2004, a Cooperativa dos Produtores de Camarão do Extremo Sul da Bahia (Coopex) buscava instalar em Caravelas, entre os rios Macaco e Massangano, a qual seria a maior fazenda de carcinicultura do Brasil, com 1.500 hectares. O projeto só foi divulgado publicamente em setembro de 2005. Em 10 de novembro de 2005, ocorreu uma audiência pública para apresentar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), elaborados pela empresa Plama. Durante a audiência, pesquisadores criticaram veementemente esses documentos, apontando diversas inconsistências e contradições. A partir dessa divulgação e audiência pública que o movimento pela criação da Reserva Extrativista (Resex) Marinha de Cassurubá foi impulsionado, acelerando um processo que até então se desenvolvia de forma mais discreta (ICMBio, 2019).

A força desse movimento veio, em grande parte, da atuação de lideranças extrativistas de Corumbau e Canavieiras, que fortaleceram o processo de criação da Reserva Extrativista Cassurubá. A comunicação facilitada pela linguagem e interesses em comum entre trabalhadores do mar foi fundamental. Essas lideranças se dedicaram por semanas, visitando famílias e locais de encontro de pescadores e marisqueiros, para compartilhar os benefícios da Resex. Essa estratégia permitiu o intercâmbio de experiências em gestão de Reservas Extrativistas e fortaleceu a crença dos pescadores em sua própria capacidade de luta. Eles puderam combater o discurso reacionário de “empreendedores” locais, que alegavam que a Resex era apenas uma manobra contra o licenciamento de uma fazenda de camarão. As lideranças explicaram que os danos ao manguezal afetariam diretamente os pesqueiros marítimos, dada a inter-relação ecológica entre esses ambientes (ICMBio, 2009).

No contexto das lutas por preservação ambiental e direitos territoriais, a criação da Reserva Extrativista do Cassurubá em 2009 representou uma importante vitória para as comunidades locais. A Resex foi estabelecida para proteger os meios de vida e a cultura das populações tradicionais que dependem do extrativismo, especialmente a pesca e a coleta de mariscos, para sua sobrevivência. A implantação da reserva garantiu a conservação dos manguezais, estuários e outros ecossistemas costeiros da região, assegurando o uso sustentável dos recursos naturais e fortalecendo a organização social das comunidades extrativistas (ICMBio, 2009).

2.3. CONFLITOS ATUAIS

A criação das Reservas Extrativistas não eliminou os conflitos, que continuam a ser um desafio para a sustentabilidade da região.

A Resex de Corumbau enfrenta a ausência de uma delimitação terrestre clara. Essa indefinição facilita a invasão e o uso indevido do território, intensificando os conflitos por terra e recursos naturais (Ferreira; De Andrade; De Menezes, 2018). A pesca predatória e ilegal, praticada por agentes externos à comunidade, representa uma ameaça direta à sustentabilidade dos estoques pesqueiros e à economia local, que depende fortemente dessa atividade (Barbosa-Filho *et al.*, 2020). Outro ponto crítico é o lançamento de agrotóxicos nas bacias dos rios que deságuam na Resex, resultado da expansão de grandes monoculturas e pecuárias no entorno. A implementação efetiva do Plano de Manejo da Resex de Corumbau é

dificultada pela falta de recursos financeiros e humanos para fiscalização e gestão, bem como pela dificuldade na articulação entre os diferentes órgãos e atores envolvidos (Brasil, 2023).

Apesar dos benefícios provindos do turismo, Di Ciommo (2007), em seu artigo, *Gender, Tourism, and Participatory Appraisals at the Corumbau Marine Extractive Reserve, Brazil* aponta os desafios sociais e ambientais em que a Resex Corumbau enfrenta em relação ao turismo, são eles: pressão sobre os recursos naturais, conflitos de interesse, desigualdade social, mudanças culturais, impactos ambientais diretos. Em relação aos conflitos de interesse, há uma tensão, pois o crescimento do turismo pode gerar conflitos sobre o uso da terra e dos recursos, especialmente quando o interesse de investidores externos se sobrepõe aos das populações nativas. Por fim, a relação com não nativos, com o aumento populacional de pessoas de fora da Resex, tem gerado tensões culturais e conflitos relacionados ao uso dos recursos e à manutenção das tradições locais.

Na Resex de Cassurubá, além da especulação imobiliária e da pesca predatória por não beneficiários, a prática de aterrar áreas de apicum (manguezais) para construções ou outras finalidades representa uma grave violação ambiental, destruindo ecossistemas vitais para a reprodução de diversas espécies marinhas. A falta de recursos humanos e materiais na fiscalização ambiental, similar a Corumbau, compromete a capacidade de resposta às ilegalidades. Há também divergências entre as famílias beneficiárias e a gestão da Resex na condução dos procedimentos ambientais, o que fragiliza a governança e a coesão interna. As condições precárias de saneamento e moradia, com muitas famílias consumindo água imprópria para o consumo, expõem a vulnerabilidade social e a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura. O sistema de políticas públicas, direcionadas para moradia, educação e saúde apresenta precariedades (Brasil, 2018).

Outro conflito está relacionado à atividade de operação, o terminal de barcas de Caravelas-BA, gerou conflitos principalmente devido ao tráfego de barcas, à dragagem do canal do Tomba e ao descarte do material dragado. Essas operações representaram uma ameaça constante aos ecossistemas estuarinos e marinhos. No entanto, as operações do terminal de barcas de Caravelas foram suspensas em fevereiro de 2021. Porém, há um projeto em andamento para requalificação do Porto de Caravelas, que inclui a construção de um novo terminal de apoio, marina e estaleiros. Este projeto já possui Licença Prévia das autoridades da Bahia. A criação de Reservas Extrativistas, especialmente as marinhas, é frequentemente marcada por conflitos socioambientais.

A seguir, o Quadro 1 comparativo da Reserva Extrativista Marinha do Corumbau e da Reserva Extrativista de Cassurubá.

Quadro 1 - Comparativo da situação geral das Resex marinhas

RESEX	Data da criação	Área total	Zona de amortecimento	Atores e instituições envolvidas	Tipo de conselho	Motivação	Plano de manejo	Conflitos atuais
Reserva Extrativista Marinha do Corumbau	21/09/2000	89.996,76 ha	Não possui	SPU; MPOG; MMA; ICMBio; IBAMA; APEC; pescadores tradicionais, marisqueiras e indígenas.	Deliberativo	Conservação da biodiversidade; proteção dos meios de vida das comunidades tradicionais; ordenamento da pesca; garantia do território tradicional.	Aprovado em 2023 (Portaria ICMBio nº 3.594, de 3 de novembro de 2023).	Especulação imobiliária e expansão turística; falta de delimitação terrestre; pesca predatória e ilegal; ausência de saneamento básico; lançamento de agrotóxicos nas bacias; surgimento de monoculturas e pecuária; falta de recursos humanos e financeiros para gestão; conflitos culturais com populações não nativas.
Reserva Extrativista Marinha do Cassurubá	05/06/2009 (Decreto nº 12.058)	100.578,38 ha	485.007 ha	Projeto Manguezal/CepeN E/Ibama; Associação dos Moradores Ribeirinhos de Caravelas; Conservação Internacional; Movimento Cultural Arte Manha; Parque Nacional Marinho dos Abrolhos/Ibama; Ecomar; Instituto Baleia Jubarte; Ampac; Patrulha Ecológica; Resex Corumbau/Ibama; Resex Canavieiras/Ibama; MAP.	Deliberativo	Proteger e promover o uso sustentável do complexo estuarino entre Alcobaça, Caravelas e Nova Viçosa.	Aprovado em 04/10/2019 (Portaria nº 566, Processo nº 02282.000002/2015-08). Conselho criado em 09/05/2012 (Portaria nº 54, DOU nº 90, Seção 1, p. 119).	Especulação imobiliária; aterro de áreas de apicum; pesca predatória por não beneficiários; falta de recursos humanos e materiais para fiscalização; dificuldades na aplicação do plano de manejo; divergências entre famílias beneficiárias e gestão da Resex.

Fonte: Autoria própria, 2025.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A criação das Resex de Corumbau e Cassurubá foi uma vitória histórica para as comunidades tradicionais, mas a proteção da biodiversidade e os benefícios sociais não são garantidos apenas pela criação das áreas. Os desafios atuais, como a pressão de atividades econômicas externas e a falta de apoio governamental, demonstram a vulnerabilidade dessas comunidades.

A situação de Cassurubá, que ainda enfrenta a falta de infraestrutura básica como água potável e energia elétrica, remete à de Corumbau na década de 1990. Enquanto Corumbau, atualmente, lida com conflitos mais complexos, como o turismo desordenado e a gentrificação, Cassurubá ainda luta para superar carências básicas. Essa diferença temporal nos desafios enfrentados evidencia a falta de um apoio consistente e planejado por parte do governo para a gestão e o desenvolvimento local.

A ausência de um sistema abrangente para a coleta de dados sobre a pesca artesanal, a desigualdade nas políticas públicas e a falta de recursos para estudos de longo prazo são desafios compartilhados que minam a sustentabilidade e a equidade na gestão dos recursos. Para garantir a efetividade das Resex, é necessário que o Poder Público reavalie o arcabouço legal, garanta a fiscalização e implemente políticas que atendam às necessidades de infraestrutura e gestão das comunidades, assegurando que as lutas históricas dessas populações não sejam em vão.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Sustentabilidade da Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB

REFERÊNCIAS

- ALLEGRETTI, M. H. Reservas extrativistas: parâmetros para uma política de desenvolvimento sustentável na Amazônia. In: ANDERSON, A. *et al.* **O destino da floresta: reservas extrativistas e desenvolvimento sustentável na Amazônia**. Rio de Janeiro: Relume & Dumará, 1994.
- BARBOSA-FILHO, M. L. V. *et al.* Artisanal fisher knowledge and attitudes concerning compressor fishing in a North-Eastern Brazilian marine protected area. **Human Ecology**, v. 48, n. 3, p. 357-366, 2020.
- BRASIL. **Decreto de 21 de setembro de 2000**. Cria a Reserva Extrativista Marinha do Corumbau nos Municípios de Porto Seguro e Prado, Estado da Bahia, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2000]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2000/dnn9036.htm. Acesso em: 12 ago. 2025.
- _____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Plano de Utilização da Reserva Extrativista de Corumbau**. Brasília, DF: IBAMA, 2002.
- _____. **Decreto nº 12.058**, de 5 de junho de 2009. Estabelece a Reserva Extrativista de Cassurubá. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jun. 2009. Seção 1, p. 1.

- _____. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, Série Legislação ICMBio, Sistema Nacional de Unidades de Conservação, 2009. (Volume 1).
- _____. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Utilização da Reserva Extrativista Marinha do Corumbau - BA**: primeira fase do Plano de Manejo. [S. l.], 21 set. 2002. Com alterações até 19 abr. 2016. Disponível em: [https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinha/lista-de-ucs/resex-marinha-corumbau/arquivos/dcom_icmbio_plano_de_utilizacao_resex_corumbau_abril2016.pdf]. Acesso em: 11 ago. 2025.
- _____. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, Reserva Extrativista Marinha de Corumbau. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/populacoes-tradicionais/producao-e-uso-sustentavel/uso-sustentavel-em-ucs/reservaextrativistamarinhadecorumbau#:~:text=A%20Reserva%20Extrativista%20(RESEX)%20Marinha,sustent%C3%A1vel%20e%20a%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20dos. Publicado em 05/01/2021. Acesso em: 10 ago. 2024.
- _____. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, **Plano de Manejo da Reserva Extrativista de Cassurubá**. Brasília, DF: ICMBio, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinha/lista-de-ucs/resex-de-cassuruba/arquivos/plano_de_manejo_resex_de_cassuruba_diagnostico_vol1.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.
- _____. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, **Plano De Manejo Da Reserva Extrativista Marinha de Corumbau**, 2023. Disponível em: https://wwwov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinha/lista-de-ucs/resex-marinha-corumbau/arquivos/minuta_plano_manejo_resex_corumbau_versao_7_final.pdf.g
- BUCCI, T. **implementação da Reserva extrativista marinha do Corumbau/BA**: Relações de atores e processos de mudanças. 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Bahia, 2009.
- COSTA, P. C. P. *et al.* Reservas extrativistas marinhas: reflexões sobre desafios e oportunidades para a cogestão em áreas marinhas protegidas. **Desenvolvimento e meio ambiente**, 2018.
- DE MOURA, R. L. *et al.* Challenges and prospects of fisheries co-management under a marine extractive reserve framework in Northeastern Brazil. **Coastal Management**, v. 37, n. 6, p. 617-632, 2009.
- DIAS, H. M.; SOARES, M. L. G.; NEFFA, E. Conflitos socioambientais: o caso da carcinicultura no complexo estuarino Caravelas-Nova Viçosa/Bahia-Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, p. 111-130, 2012.

DI CIOMMO, R. C. G. Tourism, and participatory appraisals at the Corumbau Marine Extractive Reserve, Brazil. **Human Ecology Review**, p. 56-67, 2007.

FERREIRA, M. V. C.; DE ANDRADE, L. M. S.; DE MENEZES, P. D. R. Território Terrestre e Tradicional da Resex Marinha do Corumbau: estudo sobre padrões espaciais na Vila de Caraíva. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 6, n. 13, 2018.

NICOLAU, O. S. *et al.* **Ambientalismo e carcinicultura**: disputas de verdades e conflito e no extremo sul da Bahia. 2006.

OLIVEIRA, R. Reserva Extrativista Marinha de Corumbau. **Jornal Folha Verde**, ano 8, n. 10, Prado, 2003.

TRIBUNA NORTE LESTE. Empresa quer operar aeroporto, ferrovia e porto e transformar o "Vale da Pobreza" em MG e BA. **Tribuna Norte Leste**. Águas Formosas, 25 jul. 2023. Disponível em: <https://tribunanortelete.com.br/empresa-quer-operar-aeroporto-ferrovia-e-porto-e-transformar-o-vale-da-pobreza-em-mg-e-ba/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CAPÍTULO VI

NACIONALISMO, MÍDIA E AGROECOLOGIA: PERCEPÇÕES EUROPEIAS E LATINO-AMERICANAS DO CARTOON MOVEMENT SOBRE O ACORDO COMERCIAL UE-MERCOSUL (2020-2024)

NATIONALISM, MEDIA AND AGROECOLOGY: EUROPEAN AND LATIN AMERICAN PERCEPTIONS OF THE CARTOON MOVEMENT ON THE EU-MERCOSUR TRADE AGREEMENT (2020-2024)

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-6

Guilherme Fenício Alves Macedo¹

Amanda Caroline Galdino²

Maria Luisa Galdeano Damasceno³

Larissa de Oliveira Viegas⁴

Financial Support. We gratefully acknowledge the financial support from the following agencies: CAPES - Grants No. 88887.948209/2024-00 & No. 88887.02235/2025-00; FAPESP - Grant No. 24/06489-6; And Government of the State of Santa Catarina (SC) by the State Research and Innovation Support Foundation (FAPESC), that supports for the entire second author's Doctoral program, provided through public call notice CP 62/2024.

¹ PhD candidate in Political Science at the State University of Campinas - Unicamp

² PhD candidate in Politics and Sociology at the Federal University of Santa Catarina - UFSC

³ PhD candidate in Political Science at the State University of Campinas - Unicamp

⁴ PhD candidate in Political Science and International Relations at the Federal University of Paraíba – UFPB

ABSTRACT

This paper aims to comparatively analyze the political cartoons of the Cartoon Movement network regarding the EU-Mercosur Free Trade Agreement, which emphasized the relationship between agriculture and the environmental issue. Through the qualitative tradition of Content Analysis (CA) by applying the categorical technique to images and visual elements, six political cartoons produced by the network were analyzed between 2020 and 2024. In the meantime, this investigation is structured in two sections. The first section discusses the relationship between nationalism, international environmental image and agroecology. The last section interprets the political cartoons in the vehicle referring to the interregional agreement, identifying their meanings and political-ideological directions regarding the agreement. The hypothesis is that the political cartoons in the Cartoon Movement vehicle present different meanings and interests, based on nationalist perceptions grouped together in antagonistic regional cut-outs. The results point to visual productions that represent the current dichotomy

regarding the agreement on agricultural competition and its environmental impacts, thus reproducing symbolic conflicts associated with different nationalist movements, which coincide intraregionally but oppose each other interregionally.

Keywords: EU-Mercosur; Trade; Nationalism; Media; Environment; Agriculture.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar comparativamente as charges políticas da rede Cartoon Movement sobre o Acordo de Livre Comércio UE-Mercosul, as quais enfatizaram a relação entre agricultura e a questão ambiental. Através da tradição qualitativa da Análise de Conteúdo (AC) via aplicação da técnica categorial a imagens e elementos visuais, foram analisadas seis charges políticas produzidas pela rede, situadas entre 2020 e 2024. Neste íterim, a presente investigação está estruturada em dois momentos. Na primeira seção, é abordada a relação entre nacionalismo, imagem ambiental internacional e



agroecologia. Na última seção, são interpretadas as charges políticas do veículo referentes ao acordo inter-regional, identificando seus sentidos e direcionamentos político-ideológicos quanto ao acordo. A hipótese é a de que as charges políticas do veículo Cartoon Movement apresentam sentidos, significados e interesses distintos, fundamentados em percepções nacionalistas agrupadas em recortes regionais em antagonismo. Os resultados apontam para produções visuais que

representam a atual dicotomia a respeito do acordo sobre concorrência agrícola e seus impactos ambientais, reproduzindo assim conflitos simbólicos associados a distintos movimentos nacionalistas, que se coincidem intrarregionalmente, mas que se opõe no âmbito inter-regional.

Palavras-chave: UE-Mercosul; Comércio; Mídia; Nacionalismo; Meio Ambiente; Agricultura.

1. INTRODUCTION

Throughout three decades, the negotiations on the free trade agreement between the European Union and the Southern Common Market have mobilized a wide margin of international public opinion regarding the socio-economic and environmental impacts and circumstances of the final treaty. Certainly, the possible construction of an interregional free trade area of unprecedented proportions has been accompanied by expectations from different economic and social sectors and segments on both sides of the negotiations. Nevertheless, the variety of perceptions, both domestically and internationally, has become even more evident in recent years when it comes to the relationship between trade and the environment.

Both the environmental crisis in South America, especially in Brazil, and the concomitant progress of negotiations towards the final phase of the agreement, have prompted a wide range of articles in the media which have reflected narrative elements of the different positions of the negotiating parties regarding the environmental and socio-economic impacts of the agreement. These articles reproduce not only reflections on the future and feasibility of the agreement in the face of environmental circumstances since the end of the last decade, but also adjacent and equally pertinent issues at the heart of interregional negotiations. Among these issues, there has also been criticism from Mercosur's productive segments regarding Europe's resistance to opening up access to consumer markets for agricultural products. This criticism is sometimes considered to be "anti-colonialist", since it exposes the EU's contradiction in the international division of labour due to its inflection regarding the liberalization of global trade in agriculture.

Against this backdrop of intensified debate and its repercussions in the media about the future of the EU-Mercosur free trade agreement, political cartoons are deeply embedded in the public debate about the implications and obstacles of the agreement. The political

cartoon is a genre of cartoons that focuses precisely on the production of visual resources with a satirical, humorous and/or reflective content of the political and social scenario in question, thus presenting aspects and symbolic elements associated with certain discourses on a given phenomenon, locality or public figure. It is in this context that the international network of artists producing political cartoons, *Cartoon Movement*, has acted in relation to the discussion on the EU-Mercosur agreement. Therefore, considering the relevance of values and symbols in the different national perceptions of the agreement, this paper aims to analyze, in a comparative way, the political cartoons on the EU-Mercosur agreement, thus considering the different positions, mixed with different nationalist discourses, on this interregional treaty.

The first part of this paper deals with the concept of nationalism and its relevance to understanding regional antagonisms and coincidences in the construction and implementation of the agreement. The second part deals with two parallel themes that run through the international public debate on the repercussions of the agreement: the relationship between international media and environmental defense, and the relationship between colonialism and agroecology. The third and final part of the paper aims to interpret, based on the methodological approach adopted, the presence of economic interests and elements of nationalist discourse in political cartoons. The results show that there is a dissonance between perceptions of the *Cartoon Movement* network grouped into regional blocs, thus reflecting discursive aspects of different nationalist movements, but which coincide in their critical stance towards the opposing regional bloc.

2. CONSIDERATIONS ON NATIONALISM, INTERNATIONAL MEDIA AND AGROECOLOGY

Nationalism is one of the central categories for understanding the political formation of modernity, but it is also one of the most controversial and in permanent dispute. Far from being a definitive concept, this definition encompasses different theoretical traditions and historical experiences and is mobilized in different contexts by actors with different political interests. This plasticity means that nationalism can manifest itself in opposite directions. On the one hand, it can take on an emancipatory character, as in the anti-colonial movements that linked the idea of the nation to the struggle for self-determination, sovereignty and the inclusion of previously subordinate identities. On the other hand, it can express itself as a conservative and exclusionary discourse, which uses rigid borders and myths of origin to

legitimize hierarchies, reinforce inequalities or even justify projects of cultural and political homogenization. It is this exclusionary nationalism that is of interest to this paper.

In Benedict Anderson's classic definition (2017), the nation is an "imagined community" in which its members, even if they don't know each other personally, share the belief of belonging to the same political body. This community is conceived as limited, since it presupposes borders; sovereign, heir to the Enlightenment project of self-determination; and horizontal, insofar as it projects camaraderie between equals, even in contexts of inequality. This collective imagination, however, does not arise neutrally. As Anderson (2017) points out, colonial empires shaped national identities through power devices such as maps, censuses and museums, which classified colonized populations according to external parameters. Despite this, anti-colonial nationalisms were able to re-signify these ideas, transforming them into instruments of political emancipation.

Anthony Smith (1986) stresses that few states can be considered true "nation states", since most are home to an ethnic and cultural plurality. In this scenario, nationalism operates through the creation of ethnic models and myths of origin that forge a common narrative that is both integrating and excluding. Ernest Gellner (2008), for his part, sees nationalism as a product of the structural transformations of industrial society, which demanded cultural homogenization and political integration. In the Southern Cone, however, as Quijano (2005) points out, this process did not take place through the democratization of social relations, but through the systematic exclusion of indigenous people, blacks and mestizos, highlighting the violent face of conservative nationalism.

This conservative nationalism is therefore characterized by the construction of exclusionary symbolic and material borders that define who belongs to the national community and who should be kept on the margins. It is anchored in myths of origin, discourses of cultural homogeneity and the defense of the interests of political and economic elites. At the same time as it integrates a group around a shared identity, it establishes mechanisms of exclusion, sustaining hierarchies and inequalities both internally and externally.

In the European Union, the idea of a cohesive political community, committed to universal values such as sustainability, is mobilized in an exclusionary way, since the environmental discourse is used as an instrument of symbolic differentiation, with the representation of European agriculture as "sustainable" and "safe", in contrast to Latin

American production, portrayed as predatory and incompatible with environmental standards. This framing legitimizes trade barriers and functions as a form of economic protectionism disguised as environmental commitment. In the Southern Cone, on the other hand, it is also possible to identify the mobilization of a conservative nationalism when the agreement is defended strictly from the perspective of agricultural competitiveness and market expansion. From this perspective, the interests of agro-export elites are privileged, to the detriment of agendas such as food sovereignty, agro-ecology and environmental preservation. This discourse perpetuates historically structured internal hierarchies, making indigenous, peasant and traditional populations invisible and reinforcing the logic of exclusion which, as Quijano (2005) reminds us, marked the very formation of Latin American national states.

Given these considerations on the concept of nationalism, it is considered that the importance of images is highlighted in contemporary politics, which is permeated by them, so that people are constantly informed and produce political impressions by media full of images, while political leaders reinforce their ability to jointly articulate popular culture and political power (Williams, 2018). Described as "political forces in themselves" (Bleiker, 2018, p. 3), images are noted for shaping politics as much as they portray it. One example of this is modern cartographic techniques, which are fundamental to legitimizing the emergence of territorial states. Another example can be seen in Hollywood films, which manage to shape social values by providing models of heroes and villains that are well-rehearsed and deeply ingrained (Idem, 2018).

In this sense, cartoons that are usually seen in popular newspapers - as a complement to news and editorials - are politically useful. In addition, they can fulfill an educational role, appearing as they do in textbook illustrations: highlighting the news of the day and providing a better general understanding of the subjects. In political terms, cartoons that provide political commentary, analysis and criticism go beyond objective journalistic reporting and raise awareness of power relations (Manzo, 2018).

With this in mind, as far as power relations are concerned, it is known that the issue of the environment, a subject that features prominently in the Mercosur and European Union agreement, can be identified in connection with a larger dispute historically in the North-South relationship, which is part of a power structure in which the discourse on sustainable development, initially promoted by European countries, was until then recognized as a way

for Europe to dictate how developing - and previously colonized - countries should exploit and use their natural resources (Escobar, 1995). In this way, the North is generally recognized as having a superior ethical position in the environmental field, and its public opinion and environmental organizations are blind to cases in which industries in the United States or European countries are involved in environmental damage (Martínez-Alier, 2007).

At the same time, it should also be noted that the competition for natural resources and their appropriation now includes new forms of exploitation, sometimes triggered by authoritarian governments and negative interest groups, which have been established in various parts of the world, and more intensely in Brazil. In this way, other dynamics of violence, exploitation and control of the environment convey the idea of separation between human and non-human beings, and legitimize the over-exploitation of natural resources, marking the reality of the planet and the state of environmental collapse in which we find ourselves (Empinotti et al, 2021). This dynamic could be observed even more explicitly during the government of Jair Bolsonaro (2019-2022), in which Brazil's environmental image abroad, as observed in the media outlets *The Economist* and *The New York Times*, important shapers of public opinion, pointed to economic interests as a priority, outweighing concerns linked to high rates of deforestation and the negative results for the vast biodiversity of flora and fauna in Brazilian biomes, as well as climate change (Galdino, 2023).

The former Brazilian president's stance affected the trade agreement between Mercosur and the European Union, which was complicated when European countries such as Spain and France reacted negatively to the former government's negative stance and declared that they would not move forward unless there was a change in their actions in relation to environmental protection (Nogueira, Melo and Galdino, 2020).

Although it is undeniable that the actions of the former Brazilian government were characterized by negationism in relation to the environmental crisis in the country and the consequences for the context of climate change, it is important to consider that international media coverage, as Cottle (2009) observes, involves selective processes that privilege certain events, actors and interpretations over others. These processes can, as Escobar (1995) argues, reinforce stereotypes - for example, the idea of irresponsibility on the part of countries in the South - while at the same time making invisible structural connections that link environmental degradation in the South to economic and consumer dynamics in the North. These

connections include global production and trade chains that contribute to the advance of deforestation in the Amazon (Bebbington et al., 2018).

Thus, the role of the international media in constructing Brazil's environmental image cannot be dissociated from a broader debate on environmental colonialism. By reproducing selective framings, these media discourses contribute to reinforcing historical asymmetrical relations between North and South, while at the same time shaping the political arena where environmental agreements and disputes develop.

3. CARTOON MOVIMENT'S PRODUCTIONS ON THE EU-MERCOSUR AGREEMENT

The aim of this section is to present an analysis of *Cartoon Movement's* political cartoons on the EU-Mercosur agreement. The first subsection presents the classification structure adopted for analyzing the content of the documents. The second subsection presents the systematization of the results of the coded content.

3.1. METHODOLOGICAL DESIGN

Before it is possible to present the analysis of the visual and enunciative content of the cartoons, it is necessary to present the classification structure considered for the systematization and coding of the selected corpus. The classification structure was based on the methodological proposal by Chagas et al. (2014) for the analysis of visual communication resources with humorous or satirical content, especially political memes and their intentionality and purpose in situations of intense social and political mobilization, such as the electoral races. Based on the classification structure created by the authors, we consider the enunciative equivalence of the works on the EU-Mercosur trade negotiations as records that permeate both an ethical-moral rhetoric and ideological appeal, due to their persuasive content, and situational humor, reflecting a topic of public discussion. The following table shows the organization of the synthesis of the classes in order to clarify the parameters of analysis:

Chart 1 - Classification scheme for the enunciative content of political satires

Conteúdo Persuasivo	De Ação Popular	De Discussão Pública
Retórica propositiva / apelo pragmático	Ação coletiva organizada	Expressões recorrentes
Retórica sedutora ou ameaçadora / apelo emional	Ação conectiva híbrida	Referências culturais ou literárias
Retórica ético-moral / apelo ideológico	Ação conectiva espontânea	Humor situacional
Retórica crítica / apelo à credibilidæde da fonte	Ação conectiva engajamento moderado	

Source: Own elaboration based on Chagas et al (2014, p. 186)

Given the classification scheme adopted for the enunciative content of political cartoons, it is necessary to present the classification adopted, which is made up of five thematic categories: the artist's nationality; national, regional and political leadership identification; the objects associated with them; and the scenarios listed. From this, it is proposed to first analyze political cartoons by Latin American artists, and then by European artists.

3.2. COMPARATIVE ANALYSIS OF CARTOONS BY REGION

Over the course of 2019 and 2020, six political cartoons referring to the agreement were recorded as having originated and been passed on by the *Cartoon Movement* network, three of which correspond to Latin American artists, and the others to European artists from European Union member countries. Starting with the group of Latin Americans, the following figure shows the work of Brazilian artist Amorim entitled charge *EU-Mercosur deal*:

Figure 1 - *EU-Mercosur deal* (2024), by Amorim.



Source: Cartoon Movement (2025)

As expressed by the artist, the cartoon, framed as a Public Discussion with a situational humor content, satirizes the persona of the French president, Emmanuel Macron, in an

allusion to what is perceived as an attempt to implode the agreement between the blocs, then located in a formal negotiating environment. This view permeates the criticism of national segments in Brazil, especially in the production of agricultural goods, in relation to the position of disapproval or total opposition of the French political leadership in relation to the opening up of inter-regional trade. The criticism lies in the set of proposals and episodes of the French president's dissatisfaction with the agreement, highlighting, above all, Europe's climate responsibility in the face of the worsening environmental crisis in Brazil.

In *Trade Deal* (2024), Amorim exposes the ambivalence with which the negotiations between the blocs have been characterized. The figure below shows the production in question:

Figure 2 - *Trade Deal* (2024), by Amorim



Based on this work, the visual elements present in the cartoon remain associated with obstacles in negotiations in the agricultural goods trade sector. On the side of the flag representing the EU, there is an association between an obstacle and what could be interpreted as an invading bird, symbolized by the image of a crow. Based on the discussion of artistic representation and symbolic conflicts discussed by Néstor (1990), the above cartoon can be interpreted as a portrait of the perception of the interests of Brazilian economic segments, given the expectation of opening up the European consumer market, and the EU's resistance to Mercosur competition, seen as threatening, unfair and disruptive by European producers.

The cartoon by Cuban artist Ramón Díaz Yanes, on the other hand, presents a pertinent tone for the analysis of the bloc of Latin American works. In the cartoon entitled *Protestos por un Acuerdo* (*Protests for an Agreement*), Yanes contrasts two profiles of agricultural

production respectively associated with each of the parties to the agreement. The figure below shows the work:

Figure 3 - *Protestos por un Acuerdo* (2024), by Díaz Yanes



Source: Cartoon Movement (2025).

From this work, it is possible to identify, on the Mercosur side, the mobilization of visual elements linked to the symbolism and narrative of Latin American nationalist movements for food sovereignty and social justice. These values were recurrently present in the tone of social movements linked to agrarian reform and the struggle of rural workers to demand labor rights, access to land to ensure the right to production and housing, as well as organic, family and self-sufficient production. On the opposite side, on the arm with the EU symbol, the opposition is presented with the advent of machinery with an obliterating gaze. This work exemplifies the multiplicity of nationalisms that permeate the different national political communities in Latin America, giving rise to unique interpretations through the mobilization of specific visual and narrative aspects.

In the European bloc, the German artist Rainer Hachfeld expresses his criticism of Mercosur's regional governance on environmental issues in the following work:

Figure 4 - The EU-Mercosur Trade Deal: The Four Presidents of Mercosur (2020), by Hachfeld



Source: Cartoon Movement (2025).

As shown in the work above, the artist exposes the disapproval of the EU-Mercosur agreement by a considerable part of German public opinion, justified by the incoherence between the responsibilities for sustainable development assumed by the European bloc and the dismantling of environmental policy in South America. The association of the former Brazilian president, Jair Bolsonaro, with a chainsaw gives an intonation to the figure of Brazil as the pivot of environmental deterioration, as well as territorial conflicts and human and ecological insecurity, especially in the Amazon biome, the international repercussions of which have been immense.

By focusing on aspects of agricultural competition, the French artist Plop & KanKr expresses through his work the central element of France's discourse of opposition to the interregional agreement. The details of this message can be seen in the figure below:

Figure 5 - Mercosur... (2020), by Plop & KanKr



Source: Cartoon Movement (2025).

Based on the idea present in this work, it is possible to observe a perception of the mode of production in Mercosur that is completely opposite to that presented by the Cuban

artist Díaz Yanes, as seen above. This reversal of roles can be seen in the association of Mercosur countries with heavy machinery for monoculture production, while a farmer with a trident of hay prevents tractors from passing along the avenue. It's worth noting that the picture also makes a visual reference to the famous 1989 Celestial Square episode. In this sense, the artist makes the French economic nationalist discourse explicit through the epigraph of his work: "French farmers protest against the free trade agreement between the European Union and Mercosur, which facilitates trade in agricultural products between Europe and five South American countries¹" (Cartoon Movement, 2025).

As a final visual resource associated with the European section, Dutch artist Maarten Wolterink presents a portrait of European public opinion's perception of the environmental implications of the interregional agreement:

Figure 6 - *Europe Is Burning... Their Forest* (2020), by Wolterink



Source: Cartoon Movement (2025).

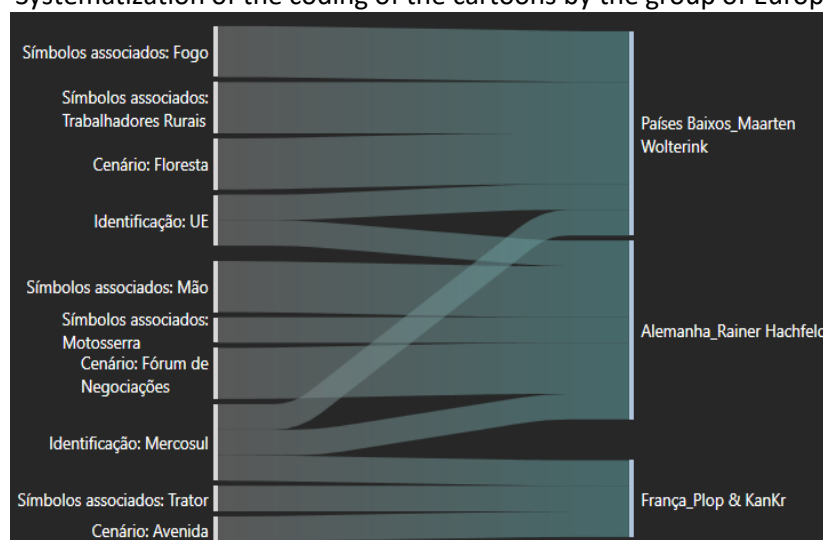
As noted, *Europe Is Burning... Their Forest* portrays the public debate on the threat of a worsening environmental issue in South America. The work exposes the environmental criticism of the construction and implementation of the agreement, which has been a coinciding element between the different political groupings with considerable visibility in domestic and supranational political institutions, such as the similarity with which conventional critics of the agreement and environmentalists vocalize their discourse against the formation of a free trade area. With an enunciative content similar to the other works in the European section, Wolterink (2020) lays out his criticism in the book's epigraph: "Tropical

¹ Translation of the original text: "French farmers demonstrate against the free trade agreement between the European Union and Mercosur, facilitating trade in agricultural products between Europe and five South American countries" (Cartoon Movemen, 2025).

forests will disappear even faster when the EU and Mercosur sign their free trade agreement. It's an old-fashioned agreement: good for trade, extremely bad for the environment" (*Cartoon Movement*, 2025, p.01).

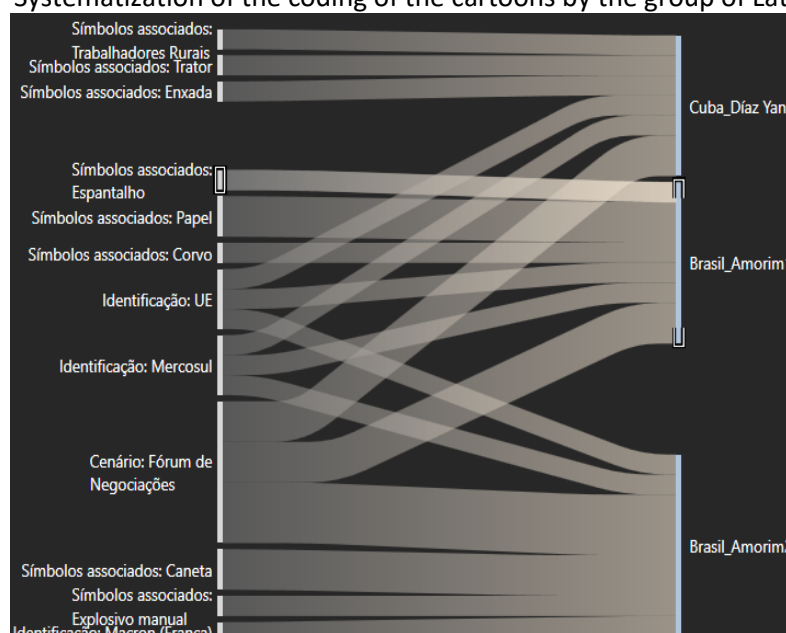
With a view to interpretation, Sankey's diagrams outline the associations by block according to the categorical classification listed:

Figure 7 - Systematization of the coding of the cartoons by the group of European artists



Source: Own elaboration.

Figure 8 - Systematization of the coding of the cartoons by the group of Latam artists



Source: Own elaboration.

Based on the observations between the other categories close to the characters/actors identified (EU; Mercosur; Macron-France), in which the scenario of negotiations permeates almost all the scenarios, it can be seen that the interpretations of the political cartoons

between the blocs carry a notable contrast when considering the objects and symbols associated depending on the bloc in question. This systematization permeates the reading of reflections of narrative and symbolic conflicts in political cartoons, thus interspersing public debate, nationally and regionally widespread perceptions, and the economic and environmental values in question.

4. FINAL CONSIDERATIONS

The purpose of this paper was to present empirical evidence of symbolic conflicts over a long history of negotiations between two important regional blocs. The results certainly point to a scenario of constantly opposing narratives based on national perceptions of the economic and socio-environmental results of the agreement.

It is clear that the clashes between narratives observed in the positions of national representatives, based on economic and socio-environmental concerns, echo at levels beyond the institutional dynamics in which the future of relations between Mercosur and the European Union has been analyzed. Nevertheless, the evidence discussed here calls for the development of new studies aimed at exploring narrative conflicts through artistic resources, not only broadening the dimension of analysis on narrative clashes, but also bringing the fields of Political Science and International Relations closer to those of Social Communication and Visual Arts.

REFERENCES

- ANDERSON, Benedict. *Comunidades imaginadas*. São Paulo: companhia das letras, 2017.
- BLEIKER, Roland. Mapping visual global politics. En *Visual global politics*. Routledge, 2018. p. 1-29.
- BEBBINGTON, Anthony J., et al. Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 52, p. 13164-13173, 2018.
- CHAGAS, Viktor; FREIRE, Fernanda Alcântara; RIOS, Daniel; MAGALHÃES, Dandara. A política dos memes e os memes da política: proposta metodológica de análise de conteúdo de memes dos debates eleitorais de 2014. *Intexto*, Porto Alegre, n. 38, p. 173–196, 2017. DOI: 10.19132/1807-8583201738.173-196. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/intexto/article/view/63892>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- COTTLE, Simon. *Global Crisis Reporting: Journalism in the Global Age*. Maidenhead: Open University Press, 2009.

- EMPINOTTI, Vanessa Lucena, et al. Between crises and insurgencies: the political ecology in defense of shared living. *Ambiente & Sociedade*, [S.l.], v. 24, n.1, p. 0160, 2021.
- ESCOBAR, A. Encountering Development: The Making and Unmaking of the Third World. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- GALDINO, A. C. A imagem ambiental do Brasil no exterior por The Economist e The New York Times: uma análise de notícias (2019-2020). 2023. 143f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Relações Internacionais - PPGR) - Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2023.
- GELLNER, Ernest. Nations and nationalism. Ithaca: Cornwell University Press, 2008.
- MANZO, Kate. Climate. In: BLEIKER, Roland (org.). Visual Global Politics. Abingdon: Routledge, 2018. p. 55-61.
- MARTINEZ-ALIER, Joan. O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração. São Paulo: Contexto, 2007.
- NOGUEIRA, Silvia Garcia; MELO, Filipe Reis; GALDINO, Amanda Caroline. A imagem ambiental do Brasil no governo Bolsonaro: análise de uma percepção latino-americana. *Sul Global*, [S.l.], 2020, v. 1, n. 2, p. 31-63.
- QUIJANO, Aníbal. El movimiento indígena, la democracia y las cuestiones pendientes en América Latina. *Polis. Revista Latinoamericana*, [S.l.], v. 3, n. 10, 2005.
- SMITH, Anthony D.. The Ethnic Origins Of Nations. Londres: Blackwell Publishing, 1986.
- WILLIAMS, Michael C. International Relations in the Age of the Image. *International Studies Quarterly*, [S.l.], 2018, v. 62, n. 4, p. 880-891.

CAPÍTULO VII

VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CAMINHOS PARA A RESILIÊNCIA SOCIOAMBIENTAL

VULNERABILITY AND CLIMATE ADAPTATION IN THE BRAZILIAN SEMIARID: PATHWAYS TO SOCIO-ENVIRONMENTAL RESILIENCE

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-7

Diogo Felipe Vieira de Oliveira ¹
Vytoria Ellen de Oliveira Ferreira ²
Brígida Lima Candeia Moura ³

¹ Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

² Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

³ Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

RESUMO

O semiárido brasileiro, caracterizado pela escassez hídrica, elevadas temperaturas e longos períodos de estiagem, figura entre as regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas globais. Este capítulo analisa os principais impactos desse fenômeno sobre os recursos naturais e as comunidades locais, evidenciando as múltiplas dimensões da vulnerabilidade ambiental, social e econômica. Destacam-se as consequências da redução das chuvas e do aumento da evapotranspiração sobre os recursos hídricos, os efeitos da erosão e da perda de matéria orgânica no solo e na vegetação, bem como a ameaça de extinção de espécies endêmicas da Caatinga. Além disso, ressalta-se a intensificação da insegurança alimentar, dos riscos à saúde e das desigualdades socioeconômicas. Em contrapartida, são apresentados caminhos de adaptação, como o manejo sustentável da água por meio de tecnologias sociais, práticas agroecológicas e de agricultura resiliente ao clima, fortalecimento da governança com instrumentos de monitoramento e políticas públicas direcionadas, além da valorização da educação ambiental e do conhecimento tradicional. Conclui-se que a resiliência socioambiental do semiárido depende de ações integradas entre comunidades, governos e instituições de pesquisa, capazes de transformar vulnerabilidades em oportunidades de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Semiárido. Mudanças Climáticas. Adaptação.

ABSTRACT

The Brazilian semiarid region, characterized by water scarcity, high temperatures, and prolonged droughts, is among the most vulnerable areas to global climate change. This chapter analyzes the main impacts of these changes on natural resources and local communities, highlighting the multiple dimensions of environmental, social, and economic vulnerability. The reduction of rainfall and increased evapotranspiration threaten water resources, while soil erosion and the loss of organic matter compromise vegetation and ecosystem services. Endemic species of the Caatinga are at risk of extinction, and food insecurity, health risks, and socioeconomic inequalities are intensified. In response, adaptation pathways are presented, including sustainable water management through social technologies, agroecological practices and climate-resilient agriculture, strengthening of governance with monitoring tools and targeted public policies, and the promotion of environmental education and traditional knowledge. It is concluded that socio-environmental resilience in the semiarid depends on integrated actions among communities, governments, and research institutions, capable of transforming vulnerabilities into opportunities for sustainable development.

Keywords: Semiarid. Climate Change. Adaptation.

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é marcado por condições climáticas singulares, caracterizadas pela irregularidade hídrica, elevadas temperaturas e prolongados períodos de estiagem. Tais particularidades tornam a região uma das mais suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas globais. Projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) indicam a possibilidade de aumento da temperatura em até 4,5 °C e redução de até 50% das chuvas, cenário que pode levar à desertificação parcial do território (PBMC, 2013).

No contexto do bioma Caatinga, o semiárido paraibano apresenta regime pluviométrico irregular e baixos índices de precipitação, o que o torna uma das áreas mais afetadas por secas recorrentes no Brasil. Essa condição climática impõe desafios significativos à gestão dos recursos hídricos, comprometendo a segurança hídrica, alimentar e energética das comunidades locais. A variabilidade climática e a ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas concentradas, exigem abordagens inovadoras e adaptadas para garantir a disponibilidade de água (Sousa & Ramalho, 2022; Mesquita & Santos, 2025).

Além da quantidade, a gestão hídrica deve considerar também a qualidade e o acesso. A escassez crônica leva à superexploração de aquíferos e à degradação de corpos d'água, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas e a saúde humana. A falta de acesso à água potável permanece como um problema persistente, sobretudo em áreas rurais, onde a infraestrutura de abastecimento é precária ou inexistente (Leite, Sousa & Silva, 2023).

Diante desse cenário, compreender os riscos e as vulnerabilidades associados às transformações climáticas torna-se fundamental para propor estratégias de adaptação capazes de fortalecer a resiliência socioambiental das comunidades locais. Assim, este capítulo discute os principais impactos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro e apresenta caminhos de adaptação, ressaltando a importância das tecnologias sociais, da governança e da valorização do conhecimento tradicional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. VULNERABILIDADE DO SEMIÁRIDO FRENTE ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A vulnerabilidade do semiárido é multifacetada, resultando da interação entre fragilidades ambientais, limitações socioeconômicas e desafios políticos. Historicamente, a

região convive com a escassez de água, a degradação do solo e a perda da biodiversidade. Estudos de modelagem climática projetam que entre 10% e 39% da área poderá apresentar alta suscetibilidade à desertificação até o final do século, dependendo do cenário de emissões adotado (SSP1-2.6 a SSP5-8.5).

2.2. RECURSOS HÍDRICOS

A redução das chuvas e o aumento da evapotranspiração comprometem a disponibilidade de água em mananciais superficiais e subterrâneos, intensificando a escassez hídrica (IPEA, 2024). A má gestão, somada à contaminação e à salinização, agrava a qualidade da água, ampliando riscos para consumo humano e atividades produtivas (Cavalcanti et al., 2005).

2.3. SOLO E VEGETAÇÃO

O solo, já fragilizado por práticas de uso intensivo, sofre processos acelerados de erosão e perda de matéria orgânica. Esse fenômeno dificulta a regeneração da Caatinga, que é essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos locais (Araújo et al., 2011).

2.4. BIODIVERSIDADE

O estresse hídrico ameaça espécies endêmicas da Caatinga, com estimativas de que até 90% possam estar em risco até 2060 (Angelotti et al., 2011). Essa perda compromete não apenas a biodiversidade, mas também o equilíbrio ecológico e a oferta de recursos utilizados pelas comunidades tradicionais.

2.5. VULNERABILIDADE SOCIAL E ECONÔMICA

As populações rurais, especialmente os agricultores familiares, encontram-se em situação de elevada vulnerabilidade. A insegurança alimentar, a precariedade no acesso à água e a falta de saneamento básico contribuem para a ampliação de riscos à saúde, incluindo a disseminação de doenças como arboviroses e infecções de veiculação hídrica (Lemos, 2020; Santos, 2023).

2.6. CAMINHOS PARA A ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA

Diante de tais desafios, a transição do paradigma de “combate à seca” para o de “convivência com o semiárido” representa um avanço significativo. Essa mudança orienta políticas públicas e práticas sociais mais adequadas à realidade local, promovendo autonomia e fortalecimento comunitário.

2.7. MANEJO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA

Tecnologias sociais, como cisternas de placas, barragens subterrâneas e sistemas de captação de água de chuva, demonstram eficácia no fortalecimento da segurança hídrica. Essas soluções de baixo custo ampliam a autonomia das comunidades rurais e favorecem a gestão sustentável da água (Embrapa Semiárido, 2024).

2.8. AGRICULTURA RESILIENTE AO CLIMA

Práticas agroecológicas, sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta, bancos de sementes crioulas e o uso de espécies nativas apresentam resultados positivos na adaptação da produção agrícola às condições de variabilidade climática (Angelotti et al., 2011).

2.9. FORTALECIMENTO DA GOVERNANÇA

Ferramentas como o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica-Ecológica (IVA) possibilitam a formulação de políticas públicas mais precisas e direcionadas às áreas mais críticas (Silva et al., 2014). A governança participativa é essencial para que as estratégias de adaptação sejam legitimadas pelas comunidades.

2.10. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONHECIMENTO TRADICIONAL

A integração do conhecimento científico com os saberes tradicionais amplia a capacidade de adaptação das comunidades. A educação ambiental, quando voltada à adaptabilidade e ao fortalecimento comunitário, contribui para a resiliência socioambiental (WRI Brasil, 2018; Centro Sabiá, 2024).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas impõem desafios crescentes ao semiárido brasileiro, intensificando problemas históricos de escassez hídrica, degradação ambiental e vulnerabilidade social. Entretanto, os caminhos de adaptação baseados na convivência com a realidade climática, no uso de tecnologias sociais e na valorização do conhecimento local oferecem perspectivas de transformação.

A construção da resiliência socioambiental depende da articulação entre governos, instituições de pesquisa e comunidades locais. Ações integradas, sustentadas por políticas públicas específicas e investimentos contínuos, podem não apenas mitigar os impactos das mudanças climáticas, mas também converter vulnerabilidades em oportunidades de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ANGELLOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças climáticas no semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 2, p. 1097–1111, 2011.
- ANGELLOTTI, F. et al. Estratégias de convivência com o semiárido. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 21, p. 15-27, 2011. ARAÚJO, F. S. et al. Efeitos das mudanças climáticas sobre a Caatinga. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 123-130, 2011
- ARAÚJO, F. S. et al. Efeitos das mudanças climáticas sobre a Caatinga. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 123-130, 2011.
- ARÁUJO, I. P. de et al. Uso e degradação dos recursos naturais no semiárido: estudo na microbacia do Rio Farinha (PB). *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 255–270, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/17679> [<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/17679>]. Acesso em: 3 ago. 2025.
- CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, M.; RODRIGUES, J. A. Qualidade da água e mudanças ambientais no semiárido. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2005.
- CAVALCANTI, N. de B.; BRITO, L. T. de L.; RESENDE, G. M. de. Escassez e desperdício de água de chuva em comunidades do semiárido do Nordeste. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2005.
- CENTRO SABIÁ. Educação e agroecologia no semiárido. Recife, 2024. Disponível em: <https://centrosabia.org.br>. Acesso em: 3 ago. 2025. DOS SANTOS, Y. C. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Rio de Janeiro: FGV, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/34590> [<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/34590>]. Acesso em: 3 ago. 2025.
- EMBRAPA SEMIÁRIDO. Tecnologias sociais para o semiárido. Petrolina, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/semiariado>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Capacidade adaptativa às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Brasília, DF: Ipea, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Recursos hídricos e mudanças climáticas no Brasil. Brasília, DF: **Ipea**, 2024.

- LEMOS, J. J. S. Vulnerabilidades induzidas no semiárido brasileiro. **Desenvolvimento Regional em Debate**, Erechim, v. 10, p. 245–268, 2020. DOI: https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2512[https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2512]
- LEMOS, M. C. Impactos das mudanças climáticas na segurança hídrica e alimentar. **Revista de Políticas Públicas**, v. 24, p. 55-68, 2020.
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas: primeiro relatório de avaliação nacional**. Rio de Janeiro: PBMC, 2013.
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário executivo do primeiro relatório de avaliação nacional sobre mudanças climáticas. Brasília: PBMC, 2013. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/REL/relatorio.html(http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/REL/relatorio.html). Acesso em: 3 ago. 2025.
- SILVA, A. de S.; SÁ, I. B.; BRITO, L. T. de L. Índice de vulnerabilidade socioeconômica e ecológica dos estabelecimentos agrários. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2014.
- SILVA, R. M. A. et al. Índice de vulnerabilidade socioeconômica-ecológica: uma proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 2, p. 221-236, 2014.
- WRI BRASIL. Soluções baseadas na natureza e resiliência climática. São Paulo: **World Resources Institute**, 2018.

CAPÍTULO VIII

GESTÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: CISTERNAS COMO TECNOLOGIA SOCIAL E POLÍTICA PÚBLICA PARA A SUSTENTABILIDADE

WATER MANAGEMENT IN THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA: CISTERNAS AS SOCIAL TECHNOLOGY AND PUBLIC POLICY FOR SUSTAINABILITY

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-8

Tatiany Iza Alves dos Santos¹

Jardel de Alcantara Rodrigues²

Brígida Lima Candeia Moura³

Kelly Diana da Silva Pereira⁴

Ismael Justino dos Santos⁵

João Victor Filgueiras de Araujo Silva⁶

¹ Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

² Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

³ Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

⁴ Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

⁵ Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

⁶ Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Segurança no Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus Patos*.

RESUMO

O presente artigo analisa a gestão da água no semiárido paraibano, com ênfase na implementação e uso de cisternas como tecnologia social para a captação de água da chuva. Considera-se o contexto hídrico desafiador da região, marcado pela escassez e irregularidade pluviométrica, e descrevem-se programas governamentais recentes (2022–2025), como o Programa Cisternas e o PB Rural Sustentável, voltados à ampliação do acesso à água. Avaliam-se os impactos socioeconômicos positivos dessas estruturas, incluindo melhorias na saúde, segurança alimentar, economia de tempo e dinamização da economia local. Analisa-se, ainda, a sustentabilidade ambiental, social e econômica das cisternas, ressaltando a relevância da participação comunitária, da capacitação, da manutenção adequada e da integração com outras políticas. Conclui-se que as cisternas são fundamentais para a convivência com o semiárido, mas sua efetividade

de longo prazo requer uma abordagem integrada que una infraestrutura, gestão, monitoramento, participação social e políticas públicas complementares. A pesquisa baseou-se em revisão bibliográfica e documental, priorizando fontes publicadas entre 2022 e 2025.

Palavras-chave: Cisternas. Sustentabilidade. Semiárido.

ABSTRACT

This article analyzes water management in the semi-arid region of Paraíba, with an emphasis on the implementation and use of cisterns as a social technology for rainwater harvesting. It considers the region's challenging water context, marked by scarcity and irregular rainfall, and describes recent government programs (2022–2025), such as the Programa Cisternas and PB Rural Sustentável, aimed at expanding access to water. The study

assesses the positive socioeconomic impacts of these structures, including improvements in health, food security, time savings, and the stimulation of the local economy. It also examines the environmental, social, and economic sustainability of cisterns, highlighting the importance of community participation, capacity building, proper maintenance, and integration with other policies. The study concludes that cisterns are essential for living in harmony with the semi-arid environment,

but their long-term effectiveness requires an integrated approach that combines infrastructure, management, monitoring, social participation, and complementary public policies. The research was based on a bibliographic and documentary review, prioritizing sources published between 2022 and 2025.

Keywords: Cisterns. Sustainability. Semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido paraibano, caracterizado por sua irregularidade pluviométrica e escassez hídrica, apresenta um cenário de complexos desafios socioambientais. A gestão dos recursos hídricos nesta região emerge como um pilar fundamental para a garantia da segurança hídrica e alimentar, bem como para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais. A convivência com as particularidades do semiárido exige a implementação de estratégias e tecnologias adaptadas à realidade local, capazes de mitigar os efeitos das estiagens prolongadas e promover a resiliência das populações. (Sousa & Ramalho, 2022).

Este artigo científico se propõe a analisar a gestão de água no semiárido paraibano, com foco nas cisternas, avaliando seu papel no acesso à água e na promoção da sustentabilidade. A relevância deste estudo reside na necessidade contínua de avaliar a efetividade e a sustentabilidade das políticas públicas voltadas para a gestão de água em regiões áridas e semiáridas. Compreender como a implementação e o manejo de tecnologias sociais, como as cisternas, influenciam o acesso à água e promovem a sustentabilidade em suas múltiplas dimensões (ambiental, social e econômica) é crucial para o aprimoramento dessas políticas e para a busca de soluções mais integradas e duradouras para a convivência com a seca. A análise se torna ainda mais pertinente ao considerarmos os desafios impostos pelas mudanças climáticas, que tendem a intensificar os eventos extremos na região. (Mesquita & Santos, 2025).

A metodologia adotada neste estudo consistiu em uma revisão bibliográfica e documental. Foram consultados artigos científicos, dissertações, teses, livros, relatórios técnicos e notícias provenientes de fontes confiáveis, priorizando-se materiais publicados a partir de 2022. A busca foi realizada em bases de dados acadêmicas, como o Google Acadêmico, e em portais governamentais brasileiros, utilizando os descritores “gestão de água”, “recursos hídricos”, “semiárido paraibano”, “cisternas”, “acesso à água” e

“sustentabilidade”. As informações coletadas foram analisadas criticamente e organizadas de forma a subsidiar a construção dos argumentos apresentados, assegurando o uso de dados e conceitos atualizados e pertinentes ao contexto brasileiro.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que orienta este trabalho pode ser formulado da seguinte maneira: *Como a implementação e a gestão de cisternas, enquanto tecnologia social, impactam o acesso à água e a sustentabilidade das comunidades rurais no semiárido paraibano, considerando os programas e políticas públicas recentes?*

O objetivo geral deste estudo é analisar a gestão de água no semiárido paraibano com foco nas cisternas, avaliando seu papel no acesso à água e na promoção da sustentabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Semiárido paraibano, inserido no bioma Caatinga, é caracterizado por um regime pluviométrico irregular e baixos índices de precipitação, o que o torna uma das regiões mais vulneráveis às secas no Brasil. Essa condição climática impõe desafios significativos à gestão dos recursos hídricos, afetando diretamente a segurança hídrica, alimentar e energética das comunidades locais. A variabilidade climática e a ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas concentradas, exigem abordagens inovadoras e adaptadas para garantir a disponibilidade de água. (Sousa & Ramalho, 2022; Mesquita & Santos, 2025).

A gestão da água no semiárido não se limita apenas à quantidade, mas também à qualidade e ao acesso. A escassez hídrica crônica leva à superexploração de aquíferos e à degradação de corpos d'água, comprometendo a sustentabilidade dos ecossistemas e a saúde humana. A falta de acesso à água potável é um problema persistente, especialmente em áreas rurais, onde a infraestrutura de abastecimento é precária ou inexistente. (Leite, Sousa & Silva, 2023).

2.1. DESAFIOS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

A escassez hídrica no Semiárido paraibano é um fenômeno complexo, influenciado por fatores naturais e antrópicos. Naturalmente, a região é caracterizada por chuvas irregulares e concentradas em curtos períodos, seguidos por longos períodos de estiagem. Essa sazonalidade extrema dificulta o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, tornando a população vulnerável a crises de abastecimento. Além disso, a alta taxa de evaporação, característica do clima semiárido, agrava a perda de água em reservatórios e solos. (Sousa & Ramalho, 2022).

Do ponto de vista antrópico, a degradação ambiental, o desmatamento da Caatinga e o uso inadequado do solo contribuem para a diminuição da capacidade de infiltração da água no solo e para o assoreamento de rios e açudes. A poluição de corpos d'água por esgoto doméstico e resíduos industriais também compromete a qualidade da água disponível, tornando-a imprópria para consumo e outros usos. A falta de saneamento básico adequado em muitas comunidades rurais intensifica esses problemas, impactando diretamente a saúde pública e o meio ambiente. (Leite, Sousa & Silva, 2023).

A dependência de fontes hídricas superficiais, como açudes e rios, torna a região ainda mais suscetível aos efeitos das secas. Quando esses reservatórios atingem níveis críticos, a população enfrenta sérias dificuldades no acesso à água, o que pode levar a conflitos pelo uso da água e a migrações. A gestão integrada dos recursos hídricos, que considera a interconexão entre as águas superficiais e subterrâneas, a qualidade da água e as demandas dos diferentes usuários, é essencial para enfrentar esses desafios. (Mesquita & Santos, 2025).

2.2. AS CISTERNAS COMO TECNOLOGIA SOCIAL PARA A CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO

As cisternas representam uma das mais eficazes tecnologias sociais para a captação e armazenamento de água da chuva no semiárido brasileiro. Sua simplicidade construtiva, baixo custo e alto impacto social as tornam uma solução amplamente adotada para garantir o acesso à água para consumo humano e, em alguns casos, para a produção de alimentos e dessedentação animal. Existem diferentes tipos de cisternas, como as de placas de cimento e as de polietileno, adaptadas às necessidades e condições locais. (Oliveira, Khan & Lima, 2023).

O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), coordenado pela Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA), é um exemplo notável de política pública que transformou a realidade hídrica de milhões de famílias no semiárido. Este programa, juntamente com iniciativas estaduais como o PB Rural Sustentável, tem contribuído significativamente para a segurança hídrica e a melhoria da qualidade de vida das populações rurais. A implementação massiva de cisternas tem demonstrado ser uma estratégia eficaz para promover a resiliência das comunidades frente aos períodos de estiagem. (Lins, 2024; Gurjão & Lima, 2024).

2.3. A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS DE ACESSO À ÁGUA

A história da convivência com o Semiárido é marcada pela busca contínua por soluções adaptadas à realidade local. As cisternas, embora simples em sua concepção, representam o ápice de um processo de aprendizado e adaptação. Inicialmente, as comunidades utilizavam métodos rudimentares de captação de água, como cacimbas e barreiros, que muitas vezes não garantiam a qualidade e a quantidade necessárias para o consumo humano. Com o tempo, e o avanço do conhecimento sobre a dinâmica hídrica do semiárido, surgiram tecnologias mais eficientes e seguras. (Oliveira, Khan & Lima, 2023) .

O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), lançado em 2003, foi um marco na democratização do acesso à água no semiárido. Sua abordagem, que prioriza a participação comunitária e a capacitação das famílias, garantiu não apenas a construção das cisternas, mas também a apropriação da tecnologia pelas comunidades. O P1MC se baseia no conceito de tecnologia social, que busca soluções simples, de baixo custo e replicáveis, que promovam a autonomia e o desenvolvimento local. (Lins, 2024) Além das cisternas de consumo, o P1MC e outras iniciativas, como o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), têm promovido a construção de cisternas de produção, que armazenam água para irrigação de pequenas lavouras e para dessedentação animal. Essas cisternas de produção são fundamentais para a segurança alimentar e nutricional das famílias rurais, permitindo a produção de alimentos mesmo em períodos de seca e contribuindo para a diversificação da economia local. (Gurjão & Lima, 2024) Iniciativas estaduais, como o PB Rural Sustentável, também têm desempenhado um papel crucial na expansão do acesso à água e na promoção da sustentabilidade no semiárido paraibano. Esses programas, muitas vezes em parceria com organizações da sociedade civil, complementam as ações federais e adaptam as estratégias às especificidades de cada micro-região. A sinergia entre os diferentes níveis de governo e a sociedade civil é um fator chave para o sucesso dessas políticas públicas. (Sousa & Silveira, 2023).

2.4. SUSTENTABILIDADE E ACESSO À ÁGUA

A sustentabilidade da gestão hídrica no semiárido, com foco nas cisternas, abrange múltiplas dimensões: ambiental, social e econômica. Ambientalmente, as cisternas promovem a conservação da água e reduzem a pressão sobre as fontes hídricas subterrâneas e superficiais. Socialmente, elas garantem o acesso à água potável, melhoram as condições de saúde e higiene, e empoderam as comunidades ao lhes proporcionar autonomia na gestão de

seus recursos hídricos. Economicamente, as cisternas permitem a diversificação das atividades produtivas, como a pequena agricultura e a criação de animais, contribuindo para a segurança alimentar e a geração de renda. (Sousa & Silveira, 2023).

No entanto, a sustentabilidade das cisternas e dos programas de acesso à água depende de fatores como a manutenção adequada das estruturas, a educação ambiental das comunidades e a integração com outras políticas públicas de desenvolvimento rural. A participação comunitária na gestão dos recursos hídricos é crucial para o sucesso e a longevidade dessas iniciativas. (Leite, Sousa & Silva, 2023).

2.5. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E O PAPEL DAS CISTERNAS

A avaliação da sustentabilidade hídrica no semiárido paraibano requer a análise de diversos indicadores, que vão além da simples disponibilidade de água. É preciso considerar a qualidade da água, a equidade no acesso, a eficiência no uso e a resiliência dos sistemas hídricos frente às mudanças climáticas. As cisternas, nesse

contexto, contribuem positivamente para a maioria desses indicadores. (Sousa & Silveira, 2023).

Em termos de qualidade, a água armazenada nas cisternas, quando bem manejada, apresenta menor risco de contaminação em comparação com outras fontes de água abertas, como açudes e rios. A cobertura e a filtragem da água da chuva minimizam a entrada de poluentes e microrganismos, tornando-a mais segura para o consumo humano. No entanto, a educação sanitária e a manutenção regular das cisternas são essenciais para garantir a potabilidade da água. (Leite, Sousa & Silva, 2023) Quanto à equidade no acesso, às cisternas têm um papel fundamental na redução das desigualdades hídricas, especialmente em áreas rurais remotas, onde o acesso à rede pública de abastecimento é inviável. Ao proporcionar água diretamente nas residências das famílias, as cisternas eliminam a necessidade de longos deslocamentos para buscar água, liberando tempo e energia para outras atividades, principalmente para mulheres e crianças. (Oliveira, Khan & Lima, 2023).

A eficiência no uso da água também é promovida pelas cisternas, pois a água armazenada é um recurso finito e visível para as famílias, o que incentiva o consumo consciente e a adoção de práticas de economia. A utilização de tecnologias de irrigação eficientes, como o gotejamento, em conjunto com as cisternas de produção, maximiza o uso da água na agricultura e minimiza o desperdício. (Lins, 2024).

Finalmente, as cisternas aumentam a resiliência dos sistemas hídricos locais frente às mudanças climáticas. Em um cenário de eventos extremos mais frequentes e intensos, a capacidade de armazenar água da chuva durante os períodos chuvosos e utilizá-la durante as estiagens prolongadas é crucial para a sobrevivência e o desenvolvimento das comunidades. As cisternas atuam como um amortecedor contra os choques hídricos, garantindo um mínimo de segurança hídrica mesmo em condições adversas. (Gurjão & Lima, 2024).

2.6. POLÍTICAS PÚBLICAS E GOVERNANÇA DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO

A gestão da água no semiárido paraibano é intrinsecamente ligada às políticas públicas e aos arranjos de governança existentes. A Lei Federal nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece os princípios e instrumentos para a gestão descentralizada e participativa da água no Brasil. No contexto do semiárido, essa política é fundamental para promover a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, considerando as particularidades da região. (Leite, Sousa & Silva, 2023).

Os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) desempenham um papel crucial na governança da água, reunindo representantes do poder público, usuários da água e da sociedade civil para discutir e deliberar sobre a gestão dos recursos hídricos em suas respectivas bacias. No semiárido paraibano, a atuação dos CBHs é essencial para mediar conflitos pelo uso da água, promover a alocação eficiente e garantir a sustentabilidade dos mananciais. No entanto, a efetividade desses comitês muitas vezes é limitada pela falta de recursos, capacitação e participação efetiva de todos os atores envolvidos. (Sousa & Ramalho, 2022) O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) são exemplos de políticas públicas que têm sido bem-sucedidas na promoção do acesso à água e na construção da resiliência no semiárido. Esses programas, coordenados pela Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA), demonstram a importância da parceria entre o governo e a sociedade civil na implementação de soluções adaptadas às necessidades locais. A abordagem participativa e a valorização do conhecimento tradicional das comunidades são elementos-chave para o sucesso dessas iniciativas. (Oliveira, Khan & Lima, 2023).

Além desses programas, outras políticas públicas, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), também contribuem indiretamente para a segurança hídrica e a sustentabilidade no semiárido, ao apoiar a produção de alimentos e a geração de renda para as famílias rurais. A

integração dessas políticas, de forma a criar sinergias e maximizar os impactos positivos, é um desafio para a gestão pública. (Sousa & Silveira, 2023).

É importante ressaltar que a governança da água no semiárido não se restringe apenas aos aspectos técnicos e institucionais, mas também envolve dimensões sociais e culturais. A percepção das comunidades sobre a água, seus valores e práticas de uso, e sua capacidade de organização e mobilização são fatores determinantes para o sucesso das políticas públicas. A promoção da educação ambiental e do diálogo entre os diferentes atores é fundamental para construir uma cultura de convivência com o semiárido, baseada na gestão sustentável dos recursos hídricos. (Mesquita & Santos, 2025).

O impacto das cisternas no semiárido paraibano tem demonstrado um impacto transformador na vida das comunidades rurais, especialmente em municípios como Patos-PB e sua região. A implementação de cisternas tem proporcionado acesso à água potável, melhorando a saúde e a qualidade de vida das populações. Além disso, as cisternas de produção têm contribuído para a segurança alimentar e a geração de renda, permitindo a produção de alimentos mesmo em períodos de seca. (Lins, 2024; Gurjão & Lima, 2024).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu seu objetivo de analisar a gestão de água no semiárido paraibano, com foco nas cisternas, avaliando seu papel no acesso à água e na promoção da sustentabilidade. A análise evidenciou que, diante de um cenário marcado por escassez hídrica, irregularidade pluviométrica e vulnerabilidade socioambiental, as cisternas configuram-se como uma tecnologia social estratégica e adaptada à realidade local. A partir da revisão bibliográfica e documental, foi possível demonstrar que programas e políticas públicas recentes, como o Programa Cisternas, o PB Rural Sustentável e o Programa Uma Terra e Duas Águas, têm contribuído significativamente para ampliar o acesso à água potável e de produção, reduzir desigualdades hídricas e fortalecer a resiliência das comunidades rurais.

Os resultados apontam impactos positivos nas dimensões ambiental, social e econômica, incluindo a conservação dos recursos hídricos, a melhoria da saúde e da segurança alimentar, a economia de tempo, a geração de renda e o fortalecimento da economia local. Também foi identificado que a sustentabilidade dessas iniciativas depende de fatores como a manutenção adequada das estruturas, a capacitação comunitária, a educação ambiental e a integração das ações de acesso à água com outras políticas públicas de desenvolvimento rural.

Conclui-se, portanto, que as cisternas são elementos centrais para a convivência com o semiárido e para o avanço da sustentabilidade na região. No entanto, sua efetividade a longo prazo requer uma abordagem integrada que uma infraestrutura, gestão, monitoramento, participação social e governança democrática da água. Assim, reforça-se a necessidade de continuidade e aprimoramento das políticas públicas voltadas ao tema, garantindo que os benefícios conquistados sejam ampliados e perpetuados frente aos desafios presentes e futuros, especialmente em um contexto de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- Gurjão, G. M. S.; Lima, J. P. R. O Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) e a segurança alimentar e nutricional no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Agrária**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2024.
- Leite, M. C. C.; Sousa, J. C.; Silva, A. L. Governança da água e desafios hídricos no semiárido paraibano. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2023.
- Lins, A. P. O Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e a democratização do acesso à água no semiárido brasileiro. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 40, n. 3, p. 1-10, 2024.
- Mesquita, R. S. Santos, P. H. S. Mudanças climáticas e gestão de recursos hídricos no semiárido paraibano: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 27, n. 1, p. 1-20, 2025.
- Oliveira, L. F.; Khan, A. S.; Lima, R. M. Tecnologias sociais de acesso à água no semiárido: o papel das cisternas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, n. 4, p. 600-615, 2023.
- Sousa, C. R.; Ramalho, J. P. Gestão de recursos hídricos no semiárido paraibano: análise dos desafios e potencialidades. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 400-415, 2022.
- Sousa, M. L.; Silveira, A. C. Sustentabilidade hídrica e políticas públicas no semiárido paraibano. **Revista de Políticas Públicas**, v. 17, n. 1, p. 80-95, 2023.

CAPÍTULO IX

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E BALANÇO HÍDRICO NA MONTANTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SERGIPE

MORPHOMETRIC ANALYSIS AND CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE IN THE UPHOLDING OF THE SERGIPE RIVER BASIN

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-9

Maria Eduarda Nascimento de Almeida ¹

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento ²

¹ Engenheira Ambiental e Sanitarista. Universidade Federal de Sergipe – UFS

² Engenheiro Geólogo. Universidade Federal de Sergipe – UFS

RESUMO

A análise morfométrica das bacias hidrográficas é fundamental para compreender seu comportamento hidrológico, influenciando o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. Essa abordagem permite identificar riscos ambientais, como erosão e inundações, além de orientar decisões sobre o uso e a conservação do solo. Este estudo tem como objetivo analisar a morfometria na montante da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe e sua relação com o balanço hídrico nos anos de 2022 e 2023. A metodologia adotada incluiu a obtenção e o processamento de dados digitais, a criação de mapas temáticos de pedologia, precipitação e vegetação, além da extração de parâmetros morfométricos nos softwares SPRING e QGIS. O balanço hídrico climatológico foi calculado, permitindo avaliar a disponibilidade hídrica na região e sua relação com as características físicas da bacia. Os resultados indicam que fatores como densidade de drenagem, fator de forma e coeficiente de compactidade influenciam diretamente o armazenamento e o escoamento da água, afetando períodos de déficit e excedente hídrico. Além disso, identificou-se que a morfometria da bacia pode contribuir para a vulnerabilidade ambiental, especialmente em áreas com menor capacidade de retenção hídrica. Dessa forma, este estudo fornece informações para a gestão sustentável dos recursos hídricos, auxiliando no planejamento territorial e na mitigação de impactos ambientais na bacia.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Deficiência hídrica. Criticidade ambiental.

ABSTRACT

Morphometric analysis of river basins is essential for understanding their hydrological behavior, influencing water resource planning and management. This approach allows for the identification of environmental risks, such as erosion and flooding, and guides decisions on land use and conservation. This study aims to analyze the morphometry of the upstream Sergipe River Basin and its relationship with the water balance in 2022 and 2023. The methodology adopted included the acquisition and processing of digital data, the creation of thematic maps of pedology, precipitation, and vegetation, and the extraction of morphometric parameters using SPRING and QGIS software. The climatological water balance was calculated, allowing for the assessment of water availability in the region and its relationship with the basin's physical characteristics. The results indicate that factors such as drainage density, shape factor, and compactness coefficient directly influence water storage and runoff, affecting periods of water deficit and surplus. Furthermore, it was identified that the basin's morphometry can contribute to environmental vulnerability, especially in areas with lower water retention capacity. Therefore, this study provides information for sustainable water resource management, aiding in territorial planning and mitigating environmental impacts in the basin.

Keywords: Water availability. Water deficiency. Environmental criticality.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma unidade geográfica essencial para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, desempenhando um papel central no ciclo da água. Responsável por captar, transportar e armazenar a água das chuvas nos corpos d'água, ela influencia diretamente na disponibilidade e na qualidade dos recursos hídricos. As bacias hidrográficas possuem grande importância ambiental, econômica e social, impactando atividades como abastecimento de água, irrigação agrícola, geração de energia e conservação da biodiversidade (FERNANDES et al., 2021).

Segundo Mioto (2014), as características físicas da bacia são determinantes para o ciclo hidrológico, pois afetam processos como infiltração, escoamento superficial e subsuperficial, além da evapotranspiração. Esses fatores influenciam a capacidade de armazenamento e distribuição de água, sendo fundamentais para a gestão e conservação dos recursos hídricos. A análise morfométrica auxilia na compreensão dessas dinâmicas, pois avalia parâmetros como área de drenagem, densidade de drenagem, fator de forma e coeficiente de compactidade, que impactam diretamente o comportamento hidrológico da bacia.

O estudo das bacias hidrográficas, tanto em áreas urbanas quanto rurais, é fundamental para equilibrar a exploração dos recursos naturais e a sustentabilidade ambiental (VASCO et al., 2011). A morfometria torna-se uma ferramenta essencial para o planejamento hídrico, pois permite identificar áreas vulneráveis a enchentes, erosão e déficit hídrico. Segundo Tonello (2005), essa abordagem facilita a tomada de decisões estratégicas para a gestão eficiente da água, auxiliando na definição de medidas de conservação do solo e do uso sustentável dos recursos naturais.

Além da morfometria, o balanço hídrico climatológico (BHC) é uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos, pois permite quantificar entradas e saídas de água no sistema, avaliando a disponibilidade hídrica ao longo do tempo. Santos et al. (2010) destacam que o entendimento dessas variáveis é essencial para o planejamento agropecuário e o controle da produção, permitindo a identificação de períodos de escassez e excesso hídrico.

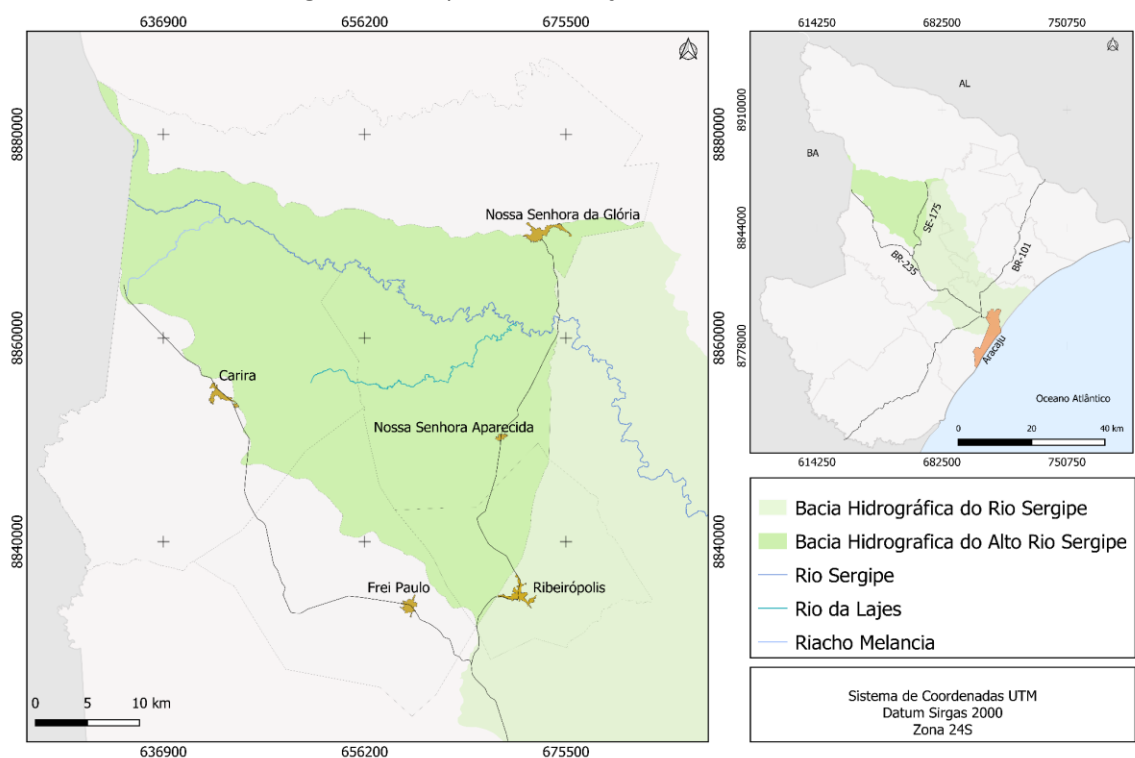
Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a morfometria da Bacia Hidrográfica na montante do Rio Sergipe, nas regiões do Agreste Central e Alto São

Francisco, no estado de Sergipe, e sua relação com o balanço hídrico ambiental nos anos de 2022 e 2023. Para isso, serão empregadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, visando identificar as potencialidades e limitações da bacia, além de avaliar a influência das suas características físicas sobre a disponibilidade hídrica da região.

2. MATERIAL E MÉTODO

A escolha da área de estudo (Figura 1) foi na montante Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, situada nos territórios Agreste Central e Alto São Francisco, abrangendo uma área total de aproximadamente 1136 km². O presente foca 5 municípios: Carira, Nossa Senhora Aparecida, Frei Paulo, Ribeirópolis e Nossa Senhora da Glória, que apresentam clima do tipo Megatérmico Semiárido (Bomfim; Costa; Benvenuti, 2002).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores, 2025.

Para a realização do presente trabalho, a metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica com a análise de artigos científicos, principalmente dos últimos cinco anos, para identificar estudos prévios relacionados à análise morfométrica de bacias hidrográficas, proporcionando uma base teórica sólida. Adicionalmente, utilizou-se literatura mais antiga devido à sua relevância para o desenvolvimento das equações utilizadas no cálculo dos parâmetros morfométricos.

Os dados referentes à área de estudo foram obtidos a partir de fontes secundárias, incluindo dados vetoriais de estados, municípios, pedologia e precipitação, disponibilizados pelo Atlas Digital de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Sergipe (SEMAC, 2025), além de informações sobre o uso da terra no estado de Sergipe, obtidos dados matriciais da Oitava Coleção do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura do Solo no Brasil (MAPBIOMAS, 2022). A visualização, edição e análise desses dados georreferenciados foram realizadas com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), Programas de geoprocessamento SPRING – versão 5.5.6 (CÂMARA et al., 1996) e QGIS (Versão 3.34) (QGIS Development Core Team, 2020). As ilustrações e mapas foram gerados com base na projeção UTM/SIRGAS 2000.

A análise morfométrica da bacia hidrográfica foi organizada em dois grupos de parâmetros: físicos e hidrológicos. A determinação desses parâmetros foi realizada aplicando as equações do Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros físicos utilizados na análise morfométrica da área de estudo

Parâmetro	Descrição	Equações
Área de drenagem (A)	A área de drenagem refere-se a toda a região drenada pelo sistema fluvial, situada entre os divisores topográficos e projetada em um plano horizontal (Villela; Mattos, 1975).	(Km ²)
Perímetro (P)	O total do comprimento linear do divisor de águas é medido de forma integral (Tonello, 2005).	(Km)
Comprimento do rio principal (L)	O comprimento total é determinado com base no perfil longitudinal do rio, medindo a distância entre a nascente mais distante e o exutório (Tucci, 2004).	(Km)
Fator de forma (Kf)	Estabelece uma relação entre a forma da bacia e a de um retângulo, sendo a razão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento da mesma (Horton, 1945).	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Coeficiente de compacidade (Kc)	Representa a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo que possui a mesma área da bacia (Cardoso et al., 2006).	$Kc = \frac{P}{2\pi R} = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$
Índice de Circularidade (Ic)	O índice de circularidade aproxima-se de um valor unitário à medida que a bacia assume uma forma circular e diminui conforme a bacia hidrográfica se torna mais alongada (Mosca, 2003).	$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$

Parâmetro	Descrição	Equações
Razão de Elongação (Re)	Relação entre o diâmetro de uma circunferência com área igual à da bacia e o comprimento de seu eixo. Quanto mais próximo da unidade, mais regular é a forma da bacia e maior a propensão a inundações (Mosca, 2003).	$Re = 1,28 \times \left(\frac{A^{0,5}}{L}\right)$
Densidade Hidrográfica (Dh)	Relação entre a quantidade de cursos d'água e a extensão da bacia para comparar a quantidade e a frequência dos rios em uma área (Christofletti, 1980).	$Dh = \frac{N}{A} \text{ (rios/km}^2\text{)}$
Densidade de Drenagem (Dd)	Indica a eficiência da rede de drenagem em bacias hidrográficas, expressa em rios por quilômetro quadrado (Villela; Mattos, 1975).	$Dd = \frac{Lt}{A} \text{ (rios/km}^2\text{)}$

Onde: A = Área; P = Perímetro; L = Comprimento do rio principal; N = Números de canais e Lt = Comprimento de todos os canais. Fonte: Autores, 2025.

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), juntamente com a caracterização do clima da cidade de Nossa Senhora Aparecida. Os cálculos foram realizados diretamente em planilha Excel elaborada por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), na versão de 2006. A planilha segue a metodologia de cálculo de Thornthwaite e Mather (1955), onde foram inseridos os dados diários e mensais de precipitação, evapotranspiração e temperatura, da área de estudo, obtidos originalmente de Xavier et al. (2022) e no site <https://climate.copernicus.eu/climate-data-store>, compilados na plataforma *Google Earth Engine* pelos pesquisadores Débora Pantojo de Souza e Glauber Vinícius Pinto de Barros. O município de Nossa Senhora Aparecida, escolhido para a análise do balanço hídrico. O município está localizado nas coordenadas -10.3944 de latitude e -37.4517 de longitude, abrangendo aproximadamente 341,18 km² e contando com uma população estimada de 9.232 habitantes, segundo o IBGE (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados extraídos da tabela de atributos gerada pelo software QGIS, a área de estudo apresenta uma área de 1136 km², em conformidade com as informações disponíveis na literatura. Além disso, a bacia possui um perímetro de 196,76 km e um rio principal que se estende por 89,54 km. No SPRING foram obtidos 684 cursos d'água, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos da área de estudo.

Parâmetro	Valores
Área de drenagem (A)	1136,00135 km ²
Perímetro (P)	196,76 km
Comprimento do rio principal (L)	89,54 km
Número de Canais (N)	684 canais
Comprimento total dos canais (Lt)	1248,231 km

Fonte: Autores, 2025.

Utilizando essas variáveis, foram calculados diversos parâmetros morfométricos, como o Fator de Forma, o Fator de Compacidade, o Índice de Circularidade, a Razão de Elongação e a Densidade Hidrográfica. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2, permitindo uma análise mais aprofundada das características morfológicas da bacia.

Tabela 2 - Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Alto rio do Sergipe.

Parâmetro	Valores
Fator de forma (Kf)	0,14169
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,634
Índice de Circularidade (Ic)	0,36884
Razão de Elongação (Re)	0,4246
Densidade Hidrográfica (Dh)	0,60211 canais/km ²
Densidade de Drenagem (Dd)	1,09879 km/km ²

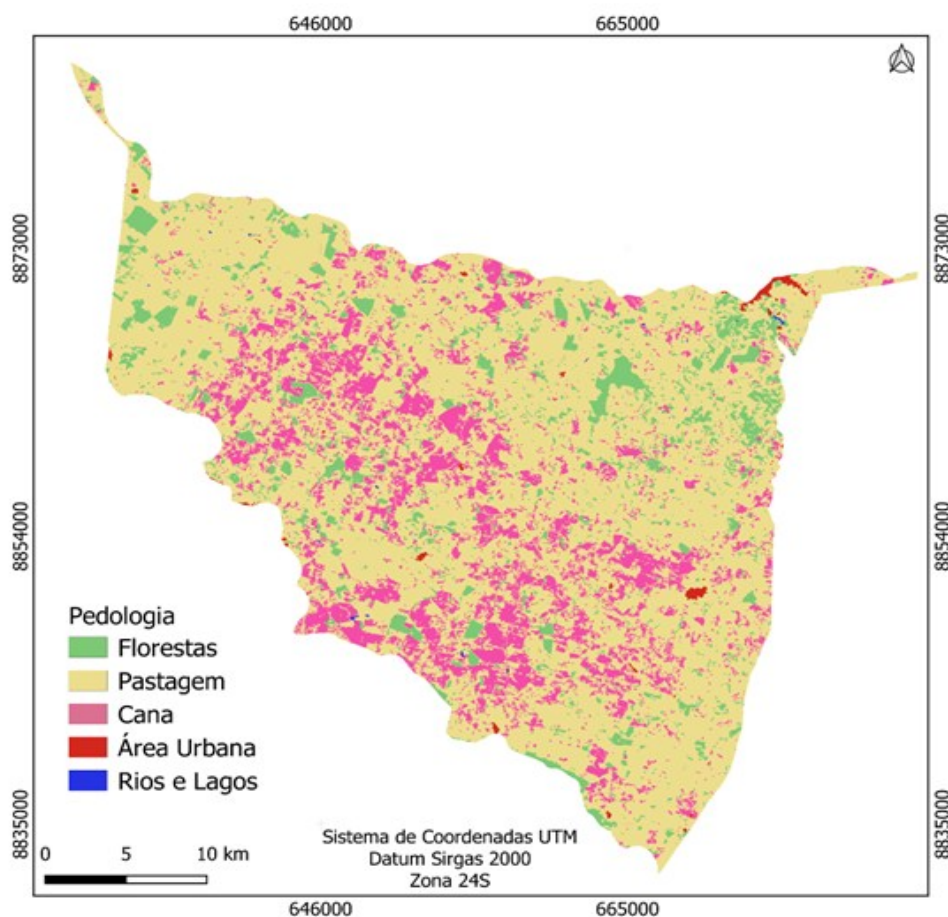
Fonte: Autores, 2025

Observa-se que a bacia apresenta baixa suscetibilidade a enchentes, dado que seu coeficiente de compacidade (Kc) é de 1,634, o que indica um afastamento da unidade, além de seu fator de forma ser relativamente baixo (0,14169). De acordo com Mello e Silva (2013), valores de Kc superiores a 1,5 e de Kf inferiores a 0,5 sugerem uma menor propensão a enchentes. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins et al. (2022) ao analisar a morfometria da sub-bacia do rio Piauitinga, evidenciando um maior tempo de concentração da água da chuva dentro da bacia.

Os valores do Índice de Circularidade (0,36884) e da Razão de Elongação (0,4246) indicam que a bacia do alto rio Sergipe possui baixa suscetibilidade a enchentes, de acordo com a classificação de Carvalho et al. (2023), quanto mais distantes esses valores estão da unidade, menor é a predisposição a inundações. Assim, a interpretação do fator de forma está em consonância com os resultados do Índice de Circularidade e da Razão de Elongação, reforçando a baixa tendência de enchentes na bacia hidrográfica do alto rio Sergipe.

O uso e vegetação da Terra na área de estudo abrange diversas atividades, incluindo formações florestais e savânicas, agropecuária, que envolve pastagens, plantações, como cana. Também são identificadas áreas não vegetadas, como zonas urbanizadas, e corpos d'água, representados por rios e lagos. A pastagem é a atividade predominante na região. O uso intensivo de insumos agrícolas e a remoção de vegetação nativa para a expansão de áreas de pasto, tanto para cultivo quanto para pecuária, impactam negativamente a fertilidade e a qualidade do solo. Além disso, as áreas urbanizadas contribuem para o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização do solo, bem como para a poluição hídrica, resultante do transporte de substâncias geradas nesses ambientes para os corpos d'água (Figura 2).

Figura 2 – Mapa simplificado de cobertura do solo

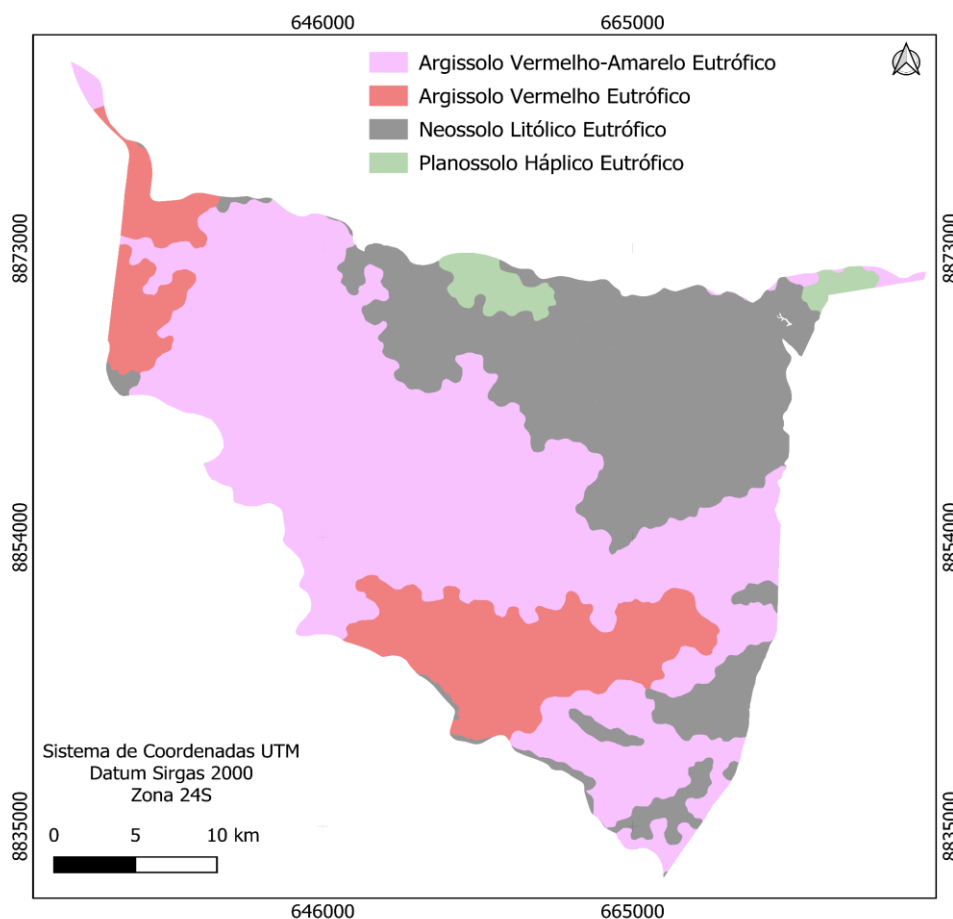


Fonte: Autores, 2025.

Em relação à pedologia, representada na Figura 3, os solos predominantes na área de estudo são os Neossolo e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. De acordo com Silva et al. (1998), esse tipo de solo causa o aumento da densidade, destacam-se o impedimento físico

ao desenvolvimento das raízes e a restrição do movimento de água e ar ao longo do perfil do solo, fatores que, por sua vez, agravam o processo de erosão. Essas limitações comprometem o uso adequado e o manejo do solo, levando à redução da produtividade agrícola e gerando impactos ambientais negativos significativos.

Figura 3 – Mapa simplificado de Pedologia

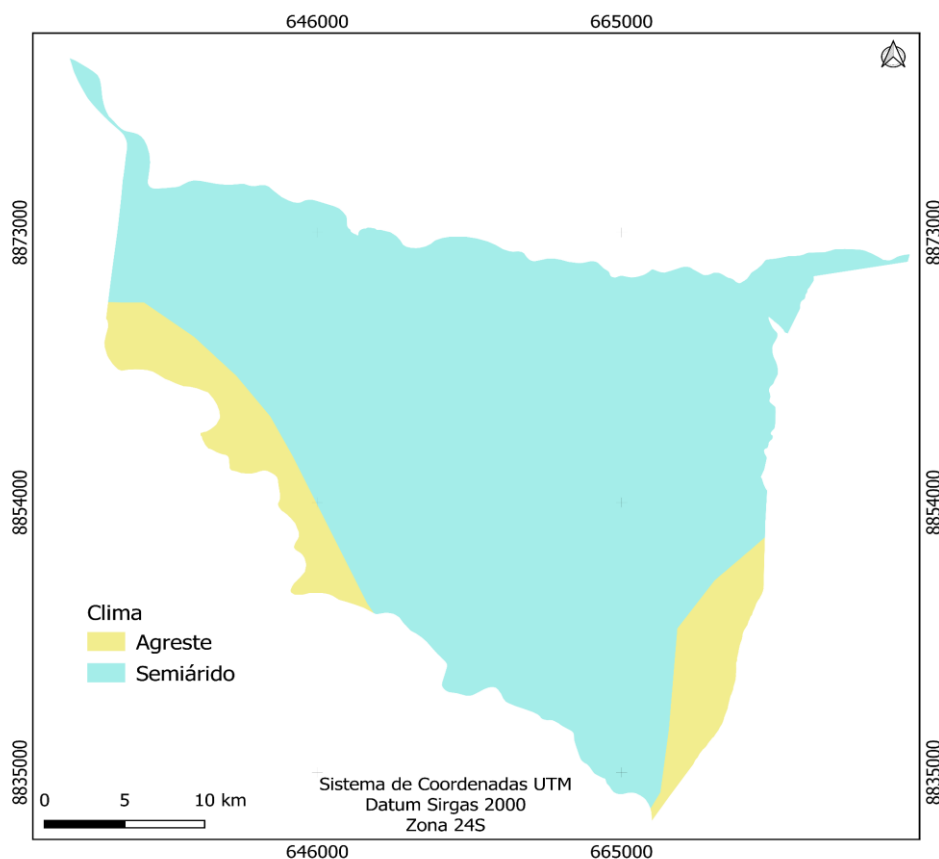


Fonte: Autores, 2025.

O clima predominante na região é o semiárido, conforme ilustrado na Figura 4, o que condiciona não apenas a vegetação, que se compõe de caatinga e campos adaptados às condições de aridez, mas também as atividades econômicas locais. A agropecuária, com ênfase na criação de gado, é uma das principais fontes de sustento para a comunidade, refletindo a dependência econômica da região. Contudo, essa prática pode acarretar sérias consequências ambientais, uma vez que o pastoreio contínuo nas mesmas áreas leva à compactação do solo e à erosão, deteriorando sua qualidade. Segundo Cunha e Guerra (2009), às áreas rurais, devido ao uso intensivo de grandes extensões para práticas agropecuárias, têm um impacto significativo no meio ambiente. Portanto, é crucial estabelecer uma conexão

entre a atividade econômica e a sustentabilidade ambiental, promovendo práticas de manejo que não apenas garantam a produtividade agrícola, mas também preservem a saúde do solo e a biodiversidade local.

Figura 4 – Mapa de Divisão Climática



Fonte: Autores, 2025.

A análise comparativa do balanço hídrico climatológico entre 2022 e 2023 em Nossa Senhora Aparecida revela variações expressivas na disponibilidade hídrica da região, evidenciadas pelos dados apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Em 2022, a precipitação média mensal foi de 65,1 mm, enquanto em 2023 houve uma redução significativa para 48,8 mm/mês, impactando diretamente a recarga hídrica da bacia. Essa queda na precipitação, aliada às características morfométricas da bacia, como densidade de drenagem e coeficiente de compacidade, influencia o escoamento superficial e a capacidade de retenção de água no solo.

A evapotranspiração potencial (ETP) também apresentou variações, passando de 62,6 mm/mês em 2022 para 51,5 mm/mês em 2023. Embora a redução da ETP possa ser atribuída a variações na temperatura e na radiação solar, o menor volume de chuvas em 2023 agravou

o déficit hídrico, aumentando a escassez de água disponível no solo. Isso se reflete no armazenamento médio de água no solo (ARM), que caiu de 85,2 mm em 2022 para 74,4 mm em 2023, comprometendo a infiltração e a manutenção da umidade ao longo do tempo.

Tabela 3 - Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) no período de 2022, Nossa Senhora Aparecida (SE)

Mês	RS	Tmed	PRE	ETP	P-ETP	ETR	DEF	ARM	EXC	Ih (%)	Ia (%)
jan	542,9	26	58,6	64,3	-5,7	64,1	0,2	94,5	0	91,1	0,3
fev	519,3	27	16,8	36,1	-19,3	33,4	2,7	77,9	0	46,5	7,4
mar	473,8	26	95,2	76,4	18,8	76,4	0	96,7	0	124,6	0
abr	450,8	26	48	55	-7	54,5	0,5	90,1	0	87,5	0,9
mai	357,5	24,75	94	51,9	42,1	51,9	0	100	32,2	181,4	0
jun	286,2	23	88	67,5	20,5	67,5	0	100	20,5	130,6	0
jul	342,1	22	95	78,4	16,6	78,4	0	100	16,6	121,2	0
ago	382,8	21,94	56	72,9	-16,9	71,5	1,4	84,5	0	76,7	1,9
set	467,9	23,15	28	58,6	-30,6	50,3	8,3	62,2	0	48,2	14,2
out	546	25	27,6	40,8	-13,2	35,3	5,5	54,5	0	67,6	13,5
nov	480,8	26	131	60,6	70,4	60,6	0	100	24,9	216,2	0
dez	563,2	26	41,8	88,6	-46,8	79,2	9,4	62,6	0	47,2	10,6
Média	451,1	24,7	65,1	62,6	-	60,3	2,3	85,2	7,9	103,2	4,1
Total	5413	297	780,7	751,1	28,9	723,1	23	1023	94,2	1238	48,8

Fonte: Autores, 2025. RS = Radiação solar; TMed = Temperatura média; PRE = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial; P-ETP = Quantidade de água que permanece no solo; ETR = Evapotranspiração real; DEF = Deficiência hídrica; ETR + ETP = ARM = Armazenamento de água no solo; EXC = Excedente hídrico; Ih = Índice hídrico; Ia = Índice de aridez; Iu = Índice de umidade.

Tabela 4 - Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) no período de 2023, Nossa Senhora Aparecida (SE)

Mês	RS	Tmed	PRE	ETP	P-ETP	ETR	DEF	ARM	EXC	Ih (%)	Ia (%)
jan	589,6	26,4	48,7	60,5	-11,7	59,8	0,7	88,9	0	80,5	1,1
fev	497,2	26,7	28,8	40,9	-12,1	38,9	2	78,8	0	70,4	4,9
mar	496,9	25,9	123,8	63,3	60,5	63,3	0	100	39,3	195,6	0
abr	456,4	25,8	40,2	73,3	-33,1	68,4	4,9	71,8	0	54,8	6,7
mai	362,1	24,7	78	67,1	10,9	67,1	0	82,8	0	116,2	0
jun	319,1	23,2	85,8	71,4	14,4	71,4	0	97,2	0	120,2	0
jul	349	22,6	52,3	66,4	-14,1	65,1	1,3	84,5	0	78,7	1,9
ago	416,6	23,5	39,9	60,8	-20,8	55,8	4,9	68,6	0	65,6	8
set	484	24,3	27,9	41,3	-13,3	36,5	4,8	60	0	67,5	11,6
out	570,6	25,8	13,9	23	-9	19,2	3,9	54,8	0	60,4	16,9
nov	603,1	27,3	11,8	16,7	-4,8	14,5	2,3	52,2	0	70,6	13,8
dez	543,2	27	33,7	32,9	0,9	32,9	0	53,1	0	102,4	0
Méd	473,9	25,3	48,8	51,5	-	49,4	2,1	74,4	3,3	90,2	5,4
Total	5687	303,2	584,8	617,6	-32,2	592,9	24,8	892,7	39,3	1082	64,9

Fonte: Autores, 2025. RS = Radiação solar; TMed = Temperatura média; PRE = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial; P-ETP = Quantidade de água que permanece no solo; ETR = Evapotranspiração real; DEF = Deficiência hídrica; ETR + ETP = ARM = Armazenamento de água no solo; EXC = Excedente hídrico; Ih = Índice hídrico; Ia = Índice de aridez; Iu = Índice de umidade.

O armazenamento médio de água no solo (ARM) também foi impactado, caindo de 85,2 mm em 2022 para 74,4 mm em 2023. Esse declínio na capacidade de armazenamento evidencia uma menor infiltração de água no solo, o que pode estar diretamente relacionado à morfometria da bacia. A presença de Neossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, identificados na análise pedológica, já indicava uma menor capacidade de retenção hídrica. Além disso, a densidade de drenagem ($Dd = 1,09879 \text{ km/km}^2$) sugere um sistema de drenagem bem desenvolvido, mas que, aliado ao tipo de solo predominante, pode resultar em maior escoamento superficial e menor infiltração.

Os índices climáticos reforçam essa interpretação. O índice hídrico (Ih) médio caiu de 85,2% em 2022 para 74,4% em 2023, indicando menor disponibilidade de água. O índice de aridez (Ia) aumentou de 4,1% para 5,4%, reforçando a condição mais seca no último ano. Já o índice de umidade (Iu) sofreu uma queda acentuada de 99,2% para 84,8%, evidenciando um agravamento no déficit hídrico.

A relação entre esses dados e a morfometria da bacia é essencial para compreender a dinâmica do escoamento e armazenamento hídrico. O coeficiente de compactidade ($Kc = 1,634$) indica um formato menos compacto da bacia, favorecendo um escoamento mais distribuído ao longo do tempo e reduzindo o risco de inundações. No entanto, o fator de forma ($Kf = 0,14169$) sugere que a bacia é relativamente alongada, o que pode prolongar o tempo de escoamento e contribuir para um menor armazenamento superficial de água, especialmente em períodos de baixa precipitação.

Esses achados estão alinhados com Passos (2017), que observou comportamento semelhante em outras regiões semiáridas, reforçando a tendência de escassez hídrica e a necessidade de estratégias para conservação da água. Esse cenário é característico do Nordeste brasileiro, onde a grande variabilidade anual da precipitação, aliada à alta demanda evaporativa, impacta diretamente setores como a agricultura e o abastecimento hídrico (Menezes et al., 2010).

Assim, a análise integrada do balanço hídrico e da morfometria da bacia reforça a necessidade de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos, incluindo práticas de conservação do solo, manejo da vegetação e controle do escoamento superficial, visando garantir maior segurança hídrica para a região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfométrica e do balanço hídrico climatológico da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Sergipe permitiu compreender as dinâmicas hidrológicas da região e seus impactos na disponibilidade hídrica. Os resultados indicam que a bacia apresenta uma morfologia alongada, com um coeficiente de compacidade elevado e um fator de forma reduzido, o que resulta em menor suscetibilidade a enchentes e um maior tempo de concentração da água. No entanto, as características do solo, a cobertura vegetal e as atividades antrópicas influenciam significativamente o escoamento e a retenção hídrica.

A predominância de Neossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, associados ao uso intensivo do solo para agropecuária, compromete a infiltração e favorece processos erosivos, reduzindo a capacidade de armazenamento de água. Além disso, a conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas e urbanas tem contribuído para a impermeabilização do solo e o aumento do escoamento superficial, elevando o risco de déficits hídricos sazonais.

Os dados do balanço hídrico climatológico demonstraram uma redução significativa na precipitação média mensal entre 2022 e 2023, resultando em menor armazenamento hídrico no solo e aumento da deficiência hídrica. Esse padrão evidencia a vulnerabilidade da região a períodos de seca prolongada, característicos do semiárido nordestino. A elevada evapotranspiração potencial reforça a necessidade de estratégias para conservação da água e mitigação dos impactos das variações climáticas.

Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de práticas sustentáveis, como reflorestamento, manejo adequado do solo e técnicas de conservação hídrica, para garantir a segurança hídrica da bacia a longo prazo. A aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento demonstrou ser uma ferramenta eficiente para monitoramento ambiental, permitindo uma gestão integrada dos recursos hídricos e auxiliando no planejamento territorial sustentável.

Este estudo contribui para o conhecimento sobre a dinâmica hidrológica da bacia e fornece subsídios para ações estratégicas que visam equilibrar o uso dos recursos naturais com a necessidade de conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

BOMFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, S. M. P. **Diagnóstico do Município de Carira**. Aracaju: CPRM, 2002, 22p.

- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U, M.; GARRIDO, T. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, SP, Campina, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/geomorfologia-uma-atualizacao-de-bases-e-conceitos>>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- FERNANDES DA SILVA, A.; LINS DE ANDRADE FARIAS, C. W. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT. **Revista Semiárido de Visu**, v. 9, n. 2, p. 76–86, 2021.
- HORTON, R. E. Desenvolvimento erosivo de riachos e suas bacias de drenagem: abordagem hidrofísica da morfologia quantitativa. **Boletim da Sociedade Geológica da América**, v. 56, p. 275-370, 1945.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Nossa Senhora Aparecida (SE) - Cidades e Estados**. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/se/nossa-senhora-aparecida.htm>>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- QGIS Development Core Team. **A Free and Open Source Geographic Information System**. [S. l., s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acessado em 02 jan. 2025.
- MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. Coleção 8. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/lancamentos/>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- MENEZES, H. E. A.; DE BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181–186, 2010.
- MIOTO, C. L. et al. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 16-22, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_16_22. Acesso em: 2 fev. 2025.
- MOSCA, A.A.O. **Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas**. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 2003.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2010.

- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.
- SEMAC. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe**. Aracaju: SEMAC, 2025. Disponível em: <https://portais.semac.se.gov.br/portaltrecursoshidricos/>. Acessado em 04 fev. 2025.
- TONELLO, K. C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. 69 p.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C. A. A. S. R.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, p. 849-857, 2006.
- THORNTON, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in Climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943 p.
- VASCO, A. N. et al. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 1, p. 118-130, jan./abr. 2011.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather grided data (1961-2020). **International Journal of Climatology**, v.2, n.16, p.8390-8404, 2022.

CAPÍTULO X

DA FONTE AO COPO: A QUÍMICA APLICADA À ANÁLISE DA ÁGUA EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI

FROM SOURCE TO GLASS: CHEMISTRY APPLIED TO WATER ANALYSIS IN DIFFERENT RESERVOIRS IN THE MUNICIPALITY OF TERESINA, PIAUÍ

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-10

José Artur Junior Barros Borges¹
Josué Henrique dos Santos Sousa²
Sany Maria de Sousa Silva³
Suellen de Moura Lima da Silva⁴
Geraldo Eduardo da Luz Junior⁵
Valdiléia Teixeira Uchôa⁶

¹ Mestrando em Química. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

² Mestrando em Química. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

³ Mestranda em Química. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

⁴ Mestranda em Química. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

⁵ Professor do Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

⁶ Professora Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual do Piauí - UESPI

RESUMO

A crescente preocupação com a escassez e a contaminação da água torna urgente a análise de sua qualidade, especialmente em áreas urbanas e rurais onde o uso desse recurso ocorre, muitas vezes, sem tratamento adequado. Nesse contexto, o projeto de extensão “Da Fonte ao Copo” avaliou a qualidade da água em Teresina-PI (rios Poti e Parnaíba, Lagoas do Norte e poço da Horta Comunitária Sinhá Borges). Foram realizadas coletas e análises físico-químicas, microbiológicas, espectroscópicas (UV-Vis) e cromatográficas (CLAE), em conformidade com normas técnicas. Os resultados mostraram que apenas a água do poço apresentou boas condições e ausência de *Escherichia coli*. Já rios e lagoas revelaram altos níveis de contaminação microbiológica e química, com destaque para a complexidade orgânica das Lagoas do Norte, associada à ação antrópica. O estudo evidencia a necessidade de monitoramento e tratamento da água, promoveu ações de educação científica com horticultores e está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) relacionados à saúde e ao meio ambiente.

Palavras-chave: Qualidade da água. Análise físico-química. Análise microbiológica. Espectroscopia UV-Vis. Cromatografia líquida.

ABSTRACT

The growing concern about water scarcity and contamination makes water quality analysis increasingly urgent, especially in urban and rural areas where this resource is often used without proper treatment. In this context, the extension project “From Source to Cup” evaluated the water quality in Teresina-PI (Poti and Parnaíba rivers, Lagoas do Norte, and the well of the Community Garden Sinhá Borges). Sample collection and physical-chemical, microbiological, spectroscopic (UV-Vis), and chromatographic (HPLC) analyses were carried out in accordance with technical standards. The results showed that only the well water presented good conditions and absence of *Escherichia coli*. On the other hand, rivers and lagoons revealed high levels of microbiological and chemical contamination, with emphasis on the organic complexity of Lagoas do Norte, associated with anthropogenic action. The study highlights the need for water monitoring and treatment, promoted scientific education activities with local horticulturists, and is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) related to health and the environment.

Keywords: Water quality. Physical-chemical analysis. Microbiological analysis. UV-Vis spectroscopy. Liquid chromatography.



1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a manutenção da vida e para o equilíbrio dos ecossistemas, desempenhando papel fundamental tanto em processos fisiológicos básicos dos seres vivos quanto em atividades produtivas essenciais, como a agricultura, a indústria e o abastecimento urbano (Brasil, 2007). Apesar de sua importância, a maior parte da água disponível no planeta não pode ser utilizada diretamente para essas finalidades, pois 97,5% do volume total encontra-se nos mares e oceanos sob a forma de água salgada (Brasil, 2006). Assim, a parcela de água doce acessível representa apenas uma fração reduzida desse recurso vital.

A maior parte da superfície da Terra está coberta por água (70%), por isso é conhecida como Planeta Azul. Porém, a maior parte desse montante de água é imprópria para consumo. Do total deste porcentual hídrico do planeta, boa parte da água está no mar, a qual é imprópria para o consumo e para utilização industrial. Outra parte está congelada na Antártica, na região do Polo Norte e em outras geleiras. Há, também, uma porção de água que fica escondida no interior da Terra (água subterrânea). Assim, apesar de cobrir a maior parte da superfície terrestre, apenas uma pequena fração de água encontra-se disponível em rios, lagos e aquíferos de fácil acesso (Brasil, 2007).

No Brasil, a água é utilizada principalmente para irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, geração de energia, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo e lazer. Cada uso depende e pode afetar condições específicas de quantidade e de qualidade das águas, sendo que o maior consumo de água se dá na agricultura, mais especificamente na irrigação (ANA, 2005).

A crescente demanda e a má gestão têm levado à contaminação e à escassez desse recurso, o que exige monitoramento constante de sua qualidade. A expansão das áreas urbanas, o crescimento populacional, assim como, a intensificação das atividades

agropecuárias tem acarretado uma pressão cada vez maior sobre os corpos hídricos. Dejetos domésticos e industriais, o uso de fertilizantes e pesticidas, e a falta de sistemas de saneamento básico contribuem para a degradação das fontes superficiais e subterrâneas de água. Deste modo, a contaminação hídrica além de comprometer o meio ambiente, representa risco direto à saúde humana, especialmente quando a água é utilizada para

irrigação de alimentos consumidos crus ou para abastecimento sem tratamento (REBOUÇAS, 2002).

Nesse sentido, a análise da qualidade da água torna-se essencial para o controle sanitário e ambiental. Os parâmetros mais frequentemente avaliados em análises físico-químicas incluem turbidez, cor, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), amônio, nitrato, nitrito e fosfato. Já as análises microbiológicas concentram-se na quantificação de coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*), indicadores de contaminação fecal (Brasil, 2006).

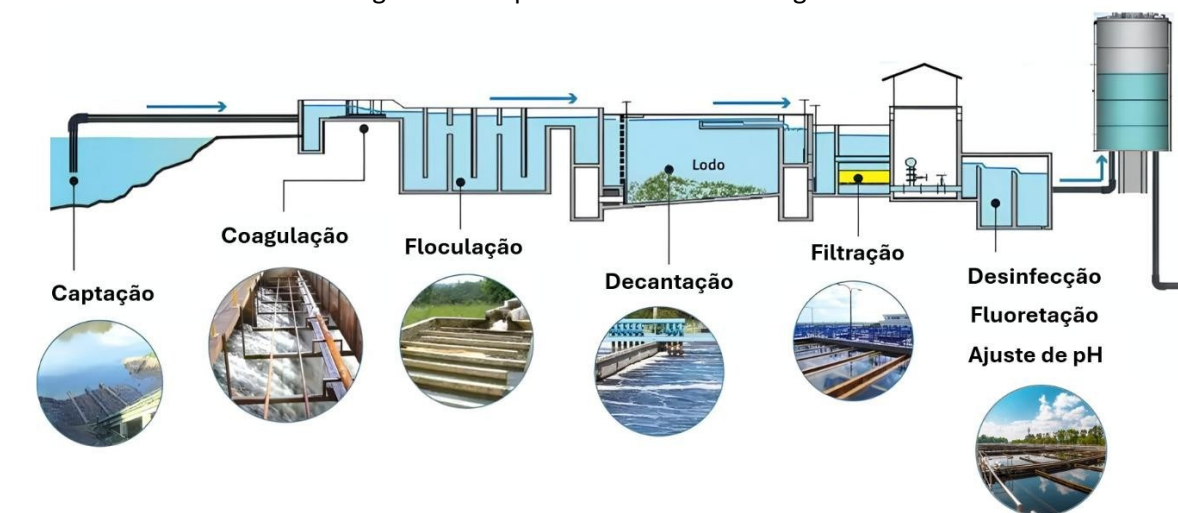
O uso de água contaminada para irrigação de hortaliças, especialmente em hortas urbanas e periurbanas, é um problema recorrente no Brasil. Estudos demonstram altos índices de coliformes e presença de patógenos em alfaces, couves e outras verduras cultivadas com água não potável (Lacerda; Ferreira, 2023). Esses produtos, quando consumidos crus, representam importante via de transmissão de doenças, afetando principalmente populações em situação de vulnerabilidade.

Além dos riscos microbiológicos, é importante considerar os impactos dos nutrientes em excesso presentes na água. Níveis elevados de nitrogênio e fósforo, muitas vezes oriundos de esgoto doméstico e fertilizantes, podem provocar a eutrofização de corpos hídricos, o crescimento de algas tóxicas e a redução do oxigênio dissolvido, prejudicando o equilíbrio aquático e inviabilizando o uso da água para abastecimento e irrigação (SOUZA *et al.*, 2014).

Neste contexto, o tratamento da água destinada ao consumo humano ou agrícola pode envolver processos físicos, químicos e biológicos. Em áreas rurais, com escassez de infraestrutura, o uso de métodos alternativos e de baixo custo — como filtros de areia, cloração simples, coagulantes naturais e osmose reversa — tem se mostrado eficaz. Logo, as etapas do tratamento de água (Figura 1) são fundamentais para uma boa qualidade.

Com as recentes notícias, na maioria das vezes alarmantes com relação à falta de água e à escassez cada vez mais acentuada de água de boa qualidade, fica evidente a necessidade de se voltar maior atenção à água na agricultura, como também em centros urbanos, não só em relação aos aspectos quantitativos, mas também aos qualitativos deste recurso natural. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água em diferentes reservatórios do município de Teresina-PI. Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e os dados foram comparados com os limites estabelecidos pela legislação brasileira, a fim de verificar a adequação da água para irrigação e consumo humano.

Figura 1 – Etapas do tratamento de água.



Fonte: Adaptado de Maciel, 2025.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto na horta comunitária, foram realizadas três visitas (Figura 2). O primeiro encontro se deu para conhecer o ambiente e observar a utilização da água, já no segundo encontro foi realizada a coleta das amostras, e no terceiro encontro foi feita uma inspeção dos reservatórios de água com vistas à manutenção da qualidade da água armazenada nas manilhas. A última etapa do projeto se deu pela visita dos horticultores ao GERATEC/UESPI, com o letramento científico dos membros da horta (Figura 3).

Já para as análises dos rios e lagoas, o projeto ocorreu em 2 etapas basicamente: coleta e testes em laboratório. Foi adotado um procedimento metodológico que envolveu desde a seleção dos pontos de coleta até a análise laboratorial de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, seguindo rigorosamente as normas técnicas e legislações ambientais vigentes. As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no LACEN – Laboratório Central de Saúde Pública Dr. Costa Alvarenga. Enquanto as análises espectroscópicas e cromatográficas foram feitas no laboratório GERATEC, UESPI – Universidade Estadual do Piauí.

Figura 2 – Visitas à horta comunitária.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 3 – Letramento científico dos horticultores no GERATEC/UESPI.



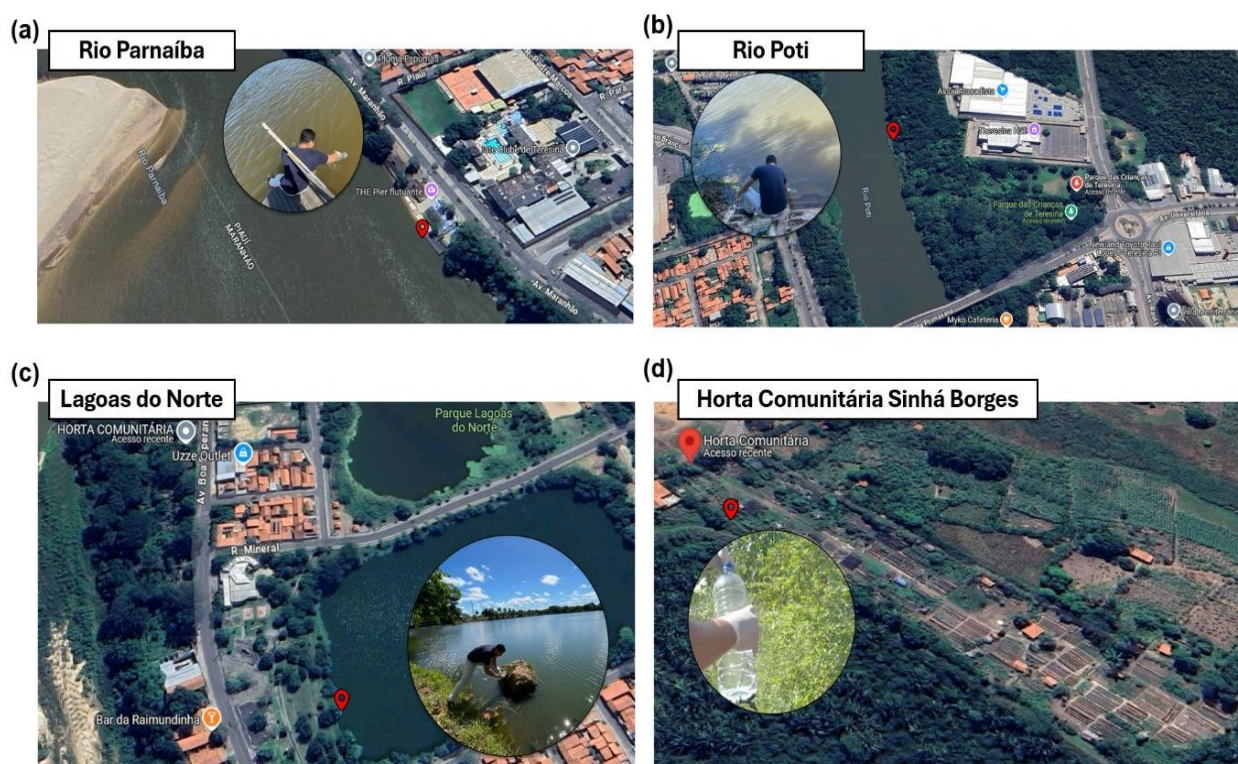
Fonte: Autoria própria, 2025.

2.1. DELIMITAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Os pontos de amostragem foram selecionados com base em critérios geográficos, ambientais e de uso humano das águas. Nos rios Poti e Parnaíba, os pontos foram definidos em áreas urbanas de maior fluxo populacional e com a presença de lançamentos de efluentes,

visando analisar o impacto antrópico sobre os cursos d'água (Figura 4). Nas Lagoas do Norte, os pontos foram escolhidos considerando locais de uso recreativo e de maior contato com a população, mais próximo às margens. Já para o poço da Horta Comunitária Sinhá Borges, a coleta foi realizada diretamente da fonte utilizada para irrigação e, eventualmente, para consumo humano indireto.

Figura 4 – Pontos de coletas de amostras em cada reservatório e leito.



Fonte: Adaptado de Google, 2025.

2.2. PROCEDIMENTO DA COLETA

A coleta seguiu os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 9898/2017, que trata da preservação e técnicas de amostragem de águas. As amostras foram coletadas em frascos apropriados, previamente lavados e esterilizados. Todos os frascos foram devidamente identificados com etiquetas. Para as análises físico-químicas, foi coletado 1,5 litro de água em garrafa pet de água mineral previamente limpa e higienizada adequadamente, seguindo a recomendação de enxágue prévio com a própria água coletada (processo de ambientação da amostra), descartando os primeiros enxágues, rotulado e acondicionado sob refrigeração até a chegada ao laboratório.

Para as análises microbiológicas, coleta foi realizada com cuidado para evitar contaminações, mantendo-se as condições assépticas exigidas, foram coletadas amostras de

100 mL em frascos estéreis, com o objetivo de evitar contaminações que venha interferir nos resultados.

As amostras foram condicionadas sob refrigeração e mantidas em temperatura controlada entre 2°C a 8°C até a chegada ao laboratório, em que se preserva a maioria de características físicas, químicas e biológicas em curto prazo (menor que 24 horas) e como tal é recomendado para todas as amostras entre coleta até a chegada ao laboratório, no prazo máximo de 6 horas após a coleta, para garantir a integridade das amostras, especialmente as microbiológicas.

As amostras de água foram coletadas visando garantir a representatividade, integridade e validade analítica dos resultados obtidos, conforme os critérios técnicos estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano e dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água.

2.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As análises físico-químicas foram conduzidas no LACEN, utilizando técnicas reconhecidas, como espectrofotometria, titulação volumétrica e métodos eletroquímicos. Os parâmetros analisados foram: pH, turbidez, cloretos, ferro, sulfatos, cor e dureza. As análises microbiológicas, por sua vez, foram realizadas com o objetivo de identificar a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, indicadores clássicos de contaminação fecal.

As seguintes metodologias analíticas foram empregadas para caracterização da qualidade da água:

- **Espectrofotometria:** Utilizada para determinação de cloreto, ferro, sulfato e cor aparente, com base na absorção de luz em comprimentos de onda específicos, conforme preconizado em normas técnicas reconhecidas.
- **Turbidimetria:** Aplicada para medição da turbidez, expressa em unidades nefelométricas de turbidez (uT), por meio da dispersão da luz causada por partículas suspensas.
- **Potenciometria:** Utilizada para mensuração do pH, com emprego de eletrodo de vidro calibrado com soluções tampão.

- **Titulação complexométrica com EDTA:** Utilizada para determinação da dureza total, expressa em mg/L de CaCO_3 , a partir da formação de complexos estáveis com íons cálcio e magnésio.

Para a análise microbiológica, foram utilizadas metodologias rápidas e seletivas, baseadas em reações enzimáticas específicas:

- **Técnica do substrato enzimático cromogênico:** Empregada na detecção de coliformes totais, baseada na liberação de compostos cromogênicos após hidrólise por enzimas bacterianas características do grupo.
- **Técnica do substrato enzimático fluorogênico:** Direcionada para a detecção de *Escherichia coli*, com base na liberação de fluorescência sob luz UV (Ultravioleta), a partir de substratos enzimáticos específicos da espécie.

Para as análises espectroscópicas e cromatográficas foram considerados os seguintes parâmetros:

- **Detecção UV-Vis:** 280 a 800 nm
- **Coluna:** C18 (fase reversa)
- **Fase móvel:** Acetonitrila:Água (55:45 v/v)
- **Detecção:** UV-vis em 254 nm (cobre ampla gama de compostos orgânicos)
- **Modo de eluição:** Isocrático (proporção é fixa), 0 a 10 min.
- **Fluxo (vazão):** 1,0 mL/min
- **Volume de injeção:** 20 μL
- **Temperatura:** 40 °C

Todas as análises foram conduzidas com base em métodos reconhecidos por órgãos reguladores e normas técnicas oficiais, assegurando a confiabilidade e rastreabilidade dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nas amostras de água coletadas nos quatro pontos permite a comparação entre águas superficiais do rio Parnaíba, rio Poti, Lagoa do Norte e as águas subterrânea do poço da horta Sinhá Borges como é possível observar na Tabela 1, quanto à sua conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

A amostra da Horta Sinhá Borges apresentou os melhores resultados nos parâmetros de cor e turbidez, estando amplamente dentro dos valores máximos permitidos, o que indica boa qualidade físico-química da água. Os níveis de cloreto, ferro, sulfato e dureza total

também estão bem abaixo dos limites máximos estabelecidos, demonstrando ausência de contaminações inorgânicas significativas.

Em contraste, as amostras dos rios e lagoas apresentaram valores de cor muito acima do limite (15 µH), principalmente na Lagoa do Norte (276 µH), o que sugere alta carga de matéria orgânica ou presença de contaminantes dissolvidos. A turbidez também ultrapassou o valor permitido nos mesmos pontos, indicando possível presença de sólidos suspensos e contribuindo para a instabilidade da qualidade da água. O pH de todas as amostras se manteve dentro da faixa recomendada, sem alterações significativas que indiquem risco à saúde ou à integridade dos sistemas de abastecimento.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos.

Parâmetros	VMP (Portaria 888/21)	Horta Sinhá Borges	Rio Parnaíba	Rio Poti	Lagoas do Norte
Cor aparente (µH)	15,0	0,0	42,0	117,0	276,0
Turbidez (µT)	5,0	0,39	1,67	9,84	6,36
pH	6,0 – 9,5	7,8	7,3	7,2	7,1
Cloreto (mg/L)	250,0	17,3	-	-	-
Ferro (mg/L)	0,3	0,03	-	-	-
Sulfato (mg/L)	250,0	5,0	-	-	-
Dureza total (mg/L)	500,0	11,58	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2025.

3.2. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Conforme a Tabela 2, a única amostra que apresentou ausência de *Escherichia coli* foi a da Horta Sinhá Borges, caracterizando a água como segura microbiologicamente para o consumo humano e irrigação de hortaliças. Contudo, foi detectada a presença de coliformes totais, o que, mesmo em baixos níveis, indica a necessidade de atenção quanto à integridade sanitária da captação e armazenamento dessa água. As amostras dos rios e lagoas demonstraram tanto a presença de coliformes totais quanto de *Escherichia coli*, apontando claramente para contaminação fecal recente. Essa condição representa risco à saúde humana e inviabiliza o uso direto dessas águas para abastecimento público ou irrigação de alimentos consumidos crus, sem tratamento adequado.

Tabela 2 – Parâmetros microbiológicos.

Parâmetros	VMP (Portaria 888/21)	Horta Sinhá Borges	Rio Parnaíba	Rio Poti	Lagoas do Norte
Coliformes totais	Ausência em 100 mL	Presença	Presença	Presença	Presença
Escherichia coli (<i>E. coli</i>)	Ausência em 100 mL	Ausência	Presença	Presença	Presença

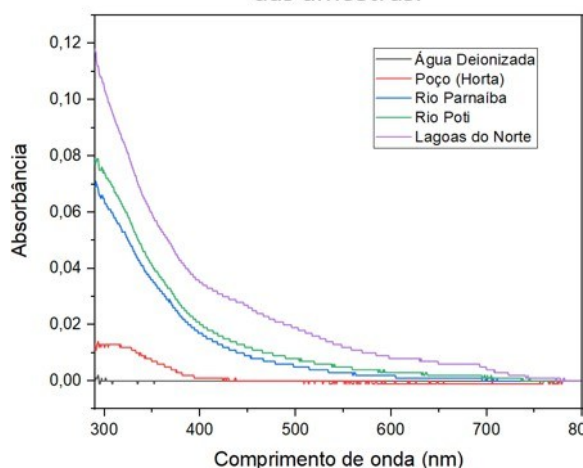
Fonte: Autoria própria, 2025.

3.3. ESPECTROSCOPIA ULTRAVIOLETA-VISÍVEL

Alíquotas de cada amostra foram investigadas no espectrofotômetro UV-Vis (Ultravioleta-visível) numa faixa entre 280 e 800 nm (Figura 5), correspondente ao comprimento de absorção máximo em aproximadamente 300 nm.

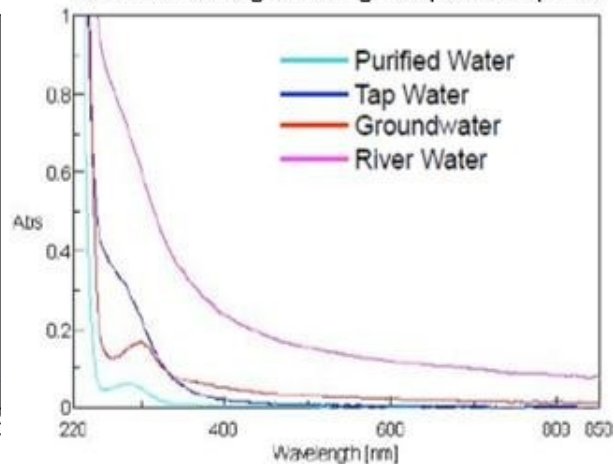
As amostras ambientais apresentaram perfil típico de água com matéria orgânica dissolvida, compatível com ambientes urbanos ou com presença de esgoto, decomposição vegetal e/ou contaminantes. Sendo a amostra de Lagoas do Norte se destaca com a maior concentração aparente de substâncias UV-ativa.

Figura 5 – Curvas de absorbância UV-vis das amostras.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 6 – Espectros de absorção das amostras de água corrigidas por ultrapura.



Fonte: Uchiyama, 2022.

Todas as amostras ambientais apresentam absorbância significativa, com máximos entre 280–320 nm. Além disso, a absorbância decai, na seguinte ordem: Lagoas do Norte > Rio Poti > Rio Parnaíba > Poço, indicando maior teor de matéria orgânica para as amostras com picos mais evidentes. Por sua vez, a água deionizada não apresenta absorbância significativa, confirmando a qualidade do branco.

Todas as amostras apresentam um leve caudal até aproximadamente 600 nm, com exceção da amostra das Lagoas do Norte, o que pode indicar a presença de material particulado coloidal ou substâncias húmicas mais complexas nesta amostra.

Os resultados encontrados estão de acordo com o observado na literatura (Figura 6), que compara o espectro de Uv-vis de diferentes amostras de água da torneira, subterrânea e rio frente à água purificada (Uchyama, 2022).

Apesar dos valores de absorbância e comprimento de onda encontrados serem diferentes da literatura consultada, é possível notar uma relação de dependência direta entre absorbância e presença de partículas. Isto é, as absorbâncias maiores são observadas para as amostras menos tratadas, como as do rio e de água subterrânea.

3.4. CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA

No HPLC (*High Performance Liquid Chromatography* – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, CLAE), as fases normal e móvel se referem a dois aspectos fundamentais do sistema cromatográfico.

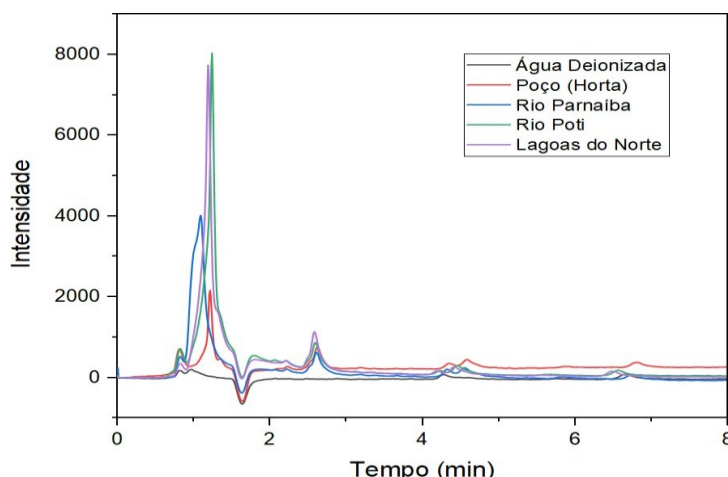
A água é um solvente polar, sendo compatível com a fase móvel da fase reversa. A maioria dos compostos orgânicos (fármacos, pesticidas, metabólitos, contaminantes ambientais) são apolares, o que os torna ideais para detecção em fase reversa. Por esse motivo colunas como C18 são amplamente usadas para triagem geral.

Pela análise, é possível notar que no tempo próximo de 1,0 min, ocorreu um pico mínimo e comum a todas as amostras ambientais (Figura 7). Sendo muito fraco na água deionizada, sugere que não é interferente do sistema, provavelmente um composto muito polar ou pequeno (eluído rapidamente com 55% de acetonitrila).

O pico negativo observado entre 1,0 e 2,0 min se deve, provavelmente, à menor absorbância das amostras em certos tempos de retenção (compostos eluídos com pouca ou nenhuma absorção UV, ou simplesmente a ausência momentânea de solutos absorventes).

Esse comportamento é comum em amostras ambientais diluídas ou que possuem componentes não cromofóricos, especialmente quando se trabalha com detecção na faixa de 200 nm, onde o sistema é sensível a pequenas variações. Como o pico negativo é reprodutível e sempre na mesma posição, não foi considerado como um erro, apenas como um indicativo físico da composição da amostra.

Figura 7 – Cromatogramas das amostras de água obtidos por HPLC.



Fonte: Autoria própria, 2025.

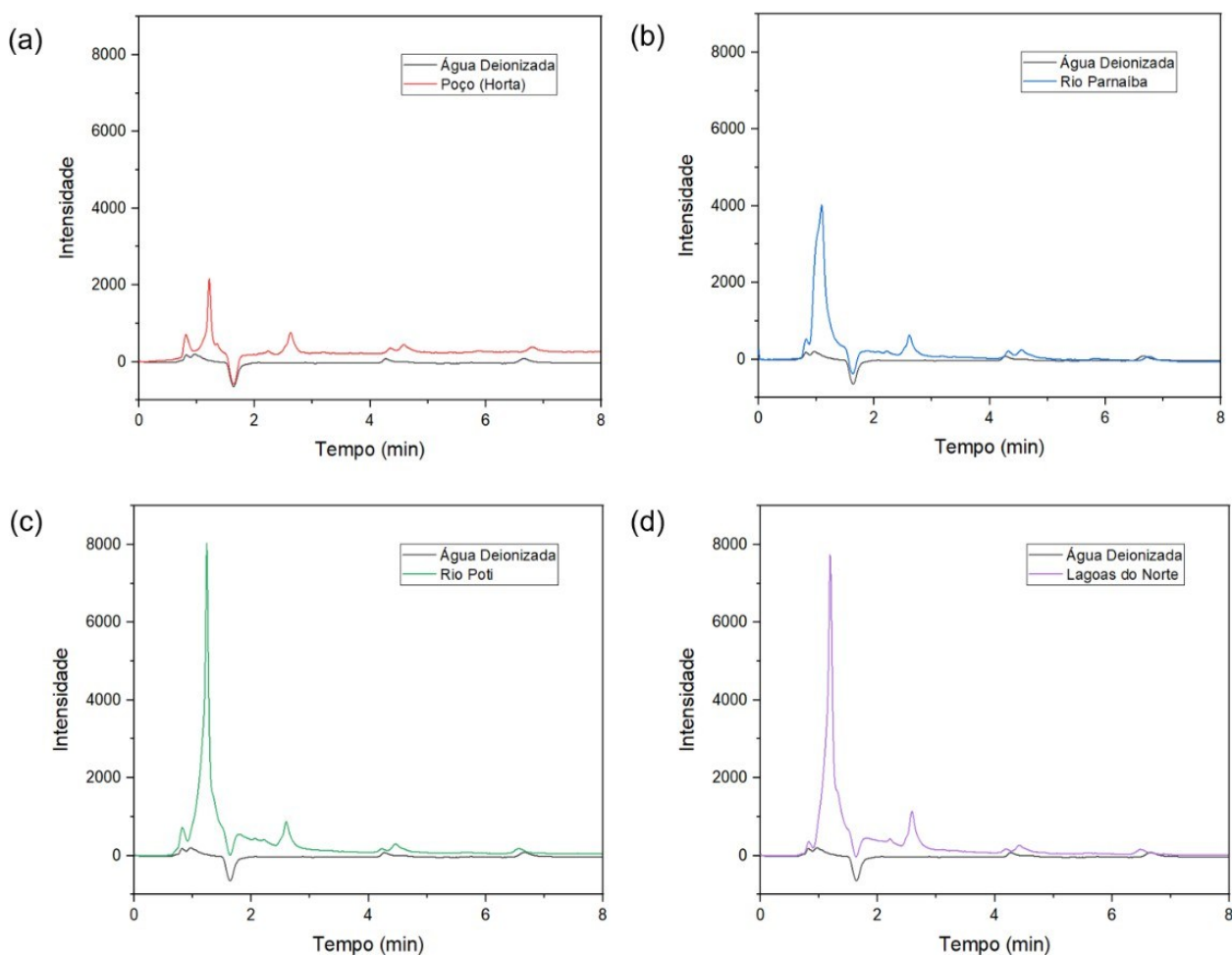
No tempo entre 1,0 e 2,0 min, todas as amostras ambientais analisadas apresentam presença significativa de compostos orgânicos detectáveis. Já no tempo de 2,0 a 4,0 min, há a presença de picos menores, com padrões diferentes entre amostras. O que pode indicar mistura de compostos polares, com diferentes níveis de retenção.

Por sua vez, nos tempos de 4,0 a 6,0 min, a água da Lagoa do Norte mostram maior diversidade e intensidade de picos, indicando potencial presença de mais apolares, ou compostos maiores, que interagem mais com a fase estacionária (como fertilizantes, resíduos industriais, pesticidas etc.). Para a identificação precisa dos possíveis compostos, seria necessário a comparação com padrões analíticos ou o uso combinado do HPLC com as capacidades de análises de espectrometria de massa (*Mass Spectrometry* – MS).

É possível realizar uma análise comparativa da água deionizada com cada uma das diferentes fontes ou reservatórios (Figura 8), permitindo assim observar com mais clareza o perfil químico de cada amostra.

Analisando-se o cromatograma da água deionizada (curva preta), observa-se um comportamento praticamente estável, com resposta mínima. Confirmando a qualidade da linha de base e a ausência de interferentes sistemáticos para sua utilização como amostra branco de comparação. Na Figura 8 (a), entre 1,5 e 4,5 min, observa-se picos discretos e baixos. A linha de base é praticamente coincidente com a da água deionizada, o que sugere uma baixa concentração de compostos UV-ativos.

Figura 8 – Cromatogramas das amostras de água bruta vs. água deionizada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Conforme a Figura 8 (b), em aproximadamente 1,6 min se observa o maior pico, mas menos intenso que no rio Poti ou Lagoas do Norte. Apresentando um perfil intermediário em complexidade e intensidade. Enquanto na Figura 8 (c), em aproximadamente 1,6 min, também se observa um pico muito intenso seguido por diversos picos menores até 4 min. Ademais, nota-se um sinal claramente superior ao da água deionizada em todo o intervalo de análise.

De acordo com a Figura 8 (d), em 1,6 min, verificou-se um pico intenso, apontando a presença de compostos com alta absorbância UV, potencialmente compostos orgânicos de baixo peso molecular. Entre 2 e 4 min, observou-se vários picos menores, que podem indicar a presença de múltiplos analitos, sugerindo complexidade química e possível contaminação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação dos principais parâmetros físico-químicos da água nos rios Poti e Parnaíba, nas Lagoas do Norte e no poço da Horta Comunitária Professora Sinhá Borges gerou informações importantes para a segurança hídrica e a saúde pública em Teresina-PI. Os resultados permitem aplicar critérios de qualidade da água conforme a Resolução CONAMA n.º 357/2005 e verificar padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS n.º 888/2021, assegurando o uso racional dos recursos hídricos e minimizando riscos à população.

O projeto também produziu um banner educativo para os horticultores, contribuindo para o letramento científico e a formação dos membros da horta. Os impactos do estudo incluem prevenção de doenças, controle de substâncias químicas e promoção de ações integradas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) e ODS 14 (Vida na Água).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao PPGQ/UESPI pelo apoio institucional e científico, cuja orientação e estrutura de pesquisa foram fundamentais para a execução do projeto.

Também expressamos nossa gratidão à FAPEPI pela aprovação do projeto, no EDITAL 06/2024 – PAPE/FAPEPI, pois o recurso financeiro possibilitou a realização das análises, a interação com a comunidade e o alcance dos objetivos, reforçando a importância do investimento em ciência e inovação.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil); BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2005. 176 p.

Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT). **ABNT NBR 9898/2017**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 2017

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. [Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade]. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas suscetíveis à desertificação no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 134 p.

GOOGLE. **Google Maps: localização de Teresina, Piauí**. 2025. [Mapa online]. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Teresina,+PI>. Acesso em: 21 ago. 2025.

UCHIYAMA, Toshifumi Water analysis using a UV-visible spectrophotometer with a 30 cm cell. **JASCO**, Japão, 2022. Disponível em: <https://www.jascoinc.com/applications>. Acesso em: 01 jul. 2025.

LACERDA, Tainara dos Santos; FERREIRA, Luiz Carlos. Contaminação microbiológica de hortaliças produzidas em uma comunidade rural do município de Januária-MG. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e33211629081-e33211629081, 2022.

MACIEL, Leandro. Do rio até a torneira: entenda como funciona o tratamento de água. **ND Mais**, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://ndmais.com.br/infraestrutura/do-rio-ate-a-torneira-entenda-como-funciona-o-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. *et al.* **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, SP: Escrituras, 2002.

SOUZA, Juliana Sobreira de; PEDROSA, Paulo; GATTS, Pedro Vianna; GRAVINA, Geraldo de Amaral. Aplicação das concentrações e proporções de nutrientes no diagnóstico da eutrofização em águas naturais. **Vértices**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 199–218, 2014.

CAPÍTULO XI

RISCOS DOS RESÍDUOS FARMACÊUTICOS NO MEIO AMBIENTE: CORRELAÇÃO ENTRE ESTRUTURAS QUÍMICAS, TOXICIDADE AMBIENTAL E REGULAMENTAÇÕES SANITÁRIAS

RISKS OF PHARMACEUTICAL WASTES IN THE ENVIRONMENT: CORRELATION BETWEEN CHEMICAL STRUCTURES, ENVIRONMENTAL TOXICITY, AND SANITARY REGULATIONS

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-11

Jéssica Tamyrís de Freitas Cavalcanti¹

João Vitor da Silva Chagas²

Fernanda Nathalia Carneiro da Cunha³

¹ Mestranda no Programa de Desenvolvimento de Processos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP- PE

² Mestrando no Programa de Desenvolvimento de Processos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP- PE

³ Mestranda no Programa de Desenvolvimento de Processos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco- UNICAP- PE

RESUMO

O descarte inadequado de medicamentos é uma prática comum na sociedade contemporânea, e frequentemente pouca atenção é dada aos métodos corretos de descarte e processamento, o que pode resultar em danos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. A contaminação ambiental por medicamentos não é atribuída apenas ao aumento do consumo, mas também à ineficiência dos tratamentos convencionais de águas residuais, que falham em eliminar completamente essas substâncias. Entre as principais classes terapêuticas identificadas em efluentes, destacam-se analgésicos, antitérmicos, reguladores lipídicos, antibióticos, antidepressivos, agentes quimioterápicos e contraceptivos hormonais. A área de descarte pelo consumidor final é especialmente carente de regulamentação, pois não existem orientações claras sobre o tema. Para minimizar os impactos ambientais, a implementação da logística reversa se revela uma excelente iniciativa, garantindo que os medicamentos descartados retornem à indústria para um tratamento ou reaproveitamento adequados antes de sua disposição final no meio ambiente.

Palavras-chave: Pharmaceutical Waste. Environmental Toxicology. Sustainability.

ABSTRACT

The improper disposal of medications is a common practice in contemporary society, and often little attention is given to the correct methods of disposal and processing, which can result in significant harm to the environment and human health. Environmental contamination by pharmaceuticals is not solely attributed to increased consumption but also to the inefficiency of conventional wastewater treatments that fail to completely eliminate these substances. Among the main therapeutic classes identified in effluents are analgesics, antipyretics, lipid regulators, antibiotics, antidepressants, chemotherapeutic agents, and hormonal contraceptives. The area of disposal by the final consumer is particularly lacking in regulation, as there are no clear guidelines on the subject. To minimize environmental impacts, the implementation of reverse logistics proves to be an excellent initiative, ensuring that discarded medications return to the industry for proper treatment or reuse before their final disposal in the environment.

Keywords: Education. Health. Environment.



1. INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de medicamentos é uma prática comum na sociedade contemporânea, marcada pelos avanços da ciência farmacêutica e da medicina. A ampliação da comercialização dos medicamentos nos últimos anos vem facilitando o acesso a esses produtos, entretanto, pouca atenção é dada ao descarte e processamento correto a fim de minimizar possíveis danos ambientais e à saúde humana.(Silva *et al.*,2021)

As rotas exatas dos medicamentos no meio ambiente ainda não são totalmente elucidadas.As principais fontes de poluição das águas residuais incluem os resíduos provenientes de áreas urbanas, hospitais, criação animal e processos de fabricação farmacêutica. Os hospitais desempenham um papel significativo nessa contaminação, seja através da excreção de medicamentos pelos pacientes ou das suas atividades laboratoriais. A presença de produtos farmacêuticos nas águas residuais urbanas é influenciada pela quantidade utilizada, eliminada e pelas características químicas individuais de cada composto. (Cordeiro *et al.*,2023)

A maior parte das classes dos medicamentos não são completamente removidas dos efluentes, pois os fármacos são projetados e desenvolvidos para ter estabilidade físico-química e manter um tempo de meia-vida adequado. Isso garante que suas atividades e respostas terapêuticas sejam eficazes no organismo. Dessa forma, os compostos farmacêuticos tendem a se bioacumular em ambientes aquáticos (Costa Júnior *et al.*, 2014).

Existem diversas causas para o acúmulo de medicamentos, dentre elas, estão a dispensação excessiva de medicamentos para o tratamento, a distribuição de amostras gratuitas pelos laboratórios farmacêuticos como parte de suas estratégias de marketing e a gestão inadequada de medicamentos por farmácias e outros estabelecimentos de saúde. No entanto, o uso responsável de medicamentos é uma responsabilidade coletiva que envolve pacientes, cuidadores, familiares, profissionais de saúde, legisladores, formuladores de políticas públicas, indústrias e o setor comercial. (Duarte *et al.*, 2018)

A carência de informação de uma parte significativa da população sobre os métodos adequados para o manuseio e descarte de medicamentos aumenta o risco de contaminação, tanto individual quanto coletiva, além de impactar negativamente o meio ambiente. Isso expõe não apenas aqueles que lidam diretamente com os medicamentos, como pacientes,

profissionais de saúde e cuidadores, mas também pessoas que não estão diretamente envolvidas no processo de tratamento medicamentoso. (Liporage *et al.*, 2024)

A contaminação das matrizes ambientais acarreta consequências relevantes para os ecossistemas e pode se transformar em um problema de saúde pública. Ao se detectar a contaminação ambiental, a presença de fármacos em águas residuais, sedimentos e na água destinada ao consumo humano pode impactar as pessoas, ocasionando efeitos indesejados, visto que essas substâncias conseguem atravessar membranas biológicas e afetar células e tecidos. (Silva *et al.*,2021)

Com o passar dos anos, os problemas ambientais se agravam e se tornam questões de interesse público, levando à revisão das legislações, que se tornam cada vez mais rigorosas devido aos riscos evidenciados. Entretanto, as consequências da má implementação dessas normas resultam em sérios prejuízos sociais, o que exige que a indústria adote sistemas eficazes que reduzam a poluição, oferecendo produtos de melhor qualidade e implementando linhas de produção com menor impacto ambiental. (Vieira, 2021).

Embora a literatura científica trate desse tema, muitos autores consideram que a discussão sobre o descarte de produtos farmacêuticos ainda é insuficiente, apesar de sua grande relevância global (Souza ,2022). Isto posto, o objetivo do presente estudo é destacar pesquisas realizadas por alguns autores sobre os impactos e riscos dos resíduos farmacêuticos no meio ambiente, levando em consideração as suas estruturas químicas ,toxicidade no meio ambiente e as regulamentações sanitárias que regem o setor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. OCORRÊNCIA DE COMPOSTOS FARMACÊUTICOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS E SUA TOXICIDADE

A contaminação ambiental por medicamentos não se deve apenas ao aumento do consumo, mas também à ineficiência dos tratamentos convencionais de águas residuais em remover completamente essas substâncias. Medicamentos resultantes de atividades humanas podem ser lançados no ambiente aquático através das águas residuais, impactando reservatórios hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, além do solo e dos organismos vivos. Esses resíduos não regulamentados constituem uma classe perigosa de poluentes que ameaçam as cadeias alimentares. As unidades de produção farmacêutica são especialmente problemáticas, pois liberam altas concentrações dessas substâncias de forma constante no meio ambiente. (Bisognin *et al.*, 2018)

Na atualidade, uma das discussões mais relevantes do ponto de vista da química ambiental é a avaliação da qualidade da água. A preocupação com micropoluentes – poluentes que estão presentes no meio ambiente em concentrações na ordem de $\mu\text{g L}^{-1}$ e ng L^{-1} – tem aumentado expressivamente nos últimos anos. Fármacos, desreguladores endócrinos e poluentes orgânicos persistentes (POP) são classes de substâncias de alto interesse de estudo e investigação, devido, principalmente, aos seus efeitos nocivos ao meio ambiente (Bila; Dezotti, 2023).

As atividades do monitoramento de fármacos residuais no meio ambiente vem ganhando grande interesse devido ao fato de muitas dessas substâncias serem frequentemente encontradas em efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e águas naturais (Bila; Dezotti, 2023). Para compreender completamente os efeitos prováveis destas exposições, é essencial avaliar as concentrações dessas substâncias em ambientes ribeirinhos. Embora estejam disponíveis dados de estudos sobre as concentrações de compostos farmacêuticos em águas residuais, existem muitas lacunas sobre o grau de exposição em todo o mundo (Wilkison *et al.*, 2023).

Nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), existem três possíveis destinos para cada medicamento: Pode ser biodegradável, ou seja, convertido em dióxido de carbono e água, como acontece com o ácido acetilsalicílico. Pode passar por processos metabólicos ou ser parcialmente degradado, como no caso das penicilinas. Ou pode ainda ser persistente, como no caso do clofibrato, um fármaco anti-lipêmico. Diante dessa última condição, é visto que outros compostos farmacêuticos apresentam uma elevada tendência à sua bioacumulação nos ambientes aquáticos (Costa Júnior *et al.*, 2014).

A bioacumulação de compostos farmacêuticos pode ocorrer de maneira direta ou indireta. Na forma direta, as substâncias químicas se acumulam por meio do contato direto com ambientes contaminados, seja pela ingestão oral, pela pele ou pela respiração. Na forma indireta, os produtos químicos se acumulam nos organismos vivos através da cadeia alimentar. (Duarte *et al.*, 2018)

As principais classes terapêuticas encontradas em efluentes são: analgésicos, antitérmicos, reguladores lipídicos, antibióticos, antidepressivos, agentes quimioterápicos, contraceptivos hormonais, entre outros. Ao exemplo de um analgésico amplamente consumido por parte da população é a dipirona sódica, em suas diversas apresentações. Em análises quantitativas pode ser encontrados altos valores de condutividade elétrica (E_c) em

solos úmidos, corresponde à presença de sais sódicos na sua fórmula estrutural. Uma das consequências do aumento da salinidade do solo é a mobilização de metais, que favorece a absorção por algumas plantas e organismos, prejudicando o desenvolvimento destes (Cunha *et al.*, 2014).

Alguns grupos de fármacos merecem uma atenção especial, os antibióticos e os estrogênios (Soares; Rosa, 2018). Os antibióticos são a classe farmacêutica predominantemente estudada em águas residuárias como contaminantes farmacêuticos, pelo fato de que levam ao desenvolvimento de bactérias resistentes, tornando ineficaz o tratamento com este grupo. As classes das quinolonas e dos macrolídeos são relatadas como os antibióticos com maior potencial contaminante, pois são removidos com menor eficiência e apresentam risco para a biota aquática e a saúde humana por promoverem a resistência bacteriana, assim como os demais antimicrobianos (Silva *et al.*, 2021). Além disso, também é possível observar toxicidades aguda e crônica no meio ambiente, desenvolvidas nos microcrustáceos *Daphnia magna* (Bila; Dezotti 2023).

Os estrogênios influenciam no comportamento de alguns peixes machos, levando à sua feminização, diminuição de seu comportamento agressivo além de afetar adversamente seu sistema reprodutor e endócrino. A maior parte do descarte vêm de medicamentos expirados, tanto de domicílios, quanto de unidades hospitalares e indústrias farmacêuticas. Em seres humanos, podem ser potencialmente fatores da causa do câncer de tireoide, mama e testículo, além de contribuir na diminuição da produção de espermatozoides (Duarte *et al.*, 2017).

Sobre a classe dos antidepressivos, um destaque maior a fluoxetina, um dos medicamentos mais utilizados globalmente. Quando liberados em ambientes aquáticos, esses compostos podem provocar efeitos negativos, impactando o sistema endócrino e reprodutor, além de alterar os genes relacionados aos neurotransmissores ligados ao estresse e à ansiedade. Nos homens, isso pode resultar em uma redução na produção de espermatozoides, assim como ocorre com os estrogênios. (Rangel *et al.*, 2023).

Outros produtos que requerem atenção especial são os antineoplásicos e imunossupressores utilizados em quimioterapia, os quais são conhecidos como potentes agentes mutagênicos. Isso ocorre porque diferentes quantidades desses agentes e seus metabólitos são excretados na urina, fezes, suor e outros fluidos corporais de indivíduos em tratamento. Dessa forma, o descarte inadequado de resíduos citotóxicos no ambiente pode

levar a sérias consequências ecológicas, incluindo a contaminação persistente do solo, do ar e da água. (Liporage *et al.*, 2024)

2.2. MARCOS REGULATÓRIOS NO BRASIL SOBRE O DESCARTE DE MEDICAMENTOS

No Brasil, os resíduos farmacêuticos são classificados como resíduos de serviços de saúde (RSS), e de acordo com a RDC 222/2018 define-se como geradores de RSS todos os serviços cujas atividades estejam relacionadas com a atenção à saúde humana ou animal (Brasil, 2018). A legislação brasileira sobre a gestão dos resíduos de serviços de saúde tem avançado, com publicação de diversas leis, resoluções e normativas para a destinação ambientalmente adequada desses resíduos perigosos, envolvendo o Ministério da Saúde e do Meio Ambiente.

A RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004, da ANVISA, que dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, e a Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005, do Ministério do Meio Ambiente (Conama, 2005), que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde. Estas resoluções trazem as classificações dos resíduos gerados nos Serviços de Saúde, orientações de como acondicioná-los, transportá-los e de suas destinações finais (Cordeiro *et al.*, 2023).

A RDC 306/04, exige que estabelecimentos de serviços de saúde disponham de Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde (PGRSS). Esta RDC junto com a resolução CONAMA 358/2005 classificam os resíduos de serviços de saúde, em cinco grupos: Grupo A – resíduos infectantes, com possível presença de agentes biológicos;

Grupo B – resíduos contendo substâncias químicas; Grupo C – rejeitos radioativos; Grupo D – resíduos comuns; e, Grupo E – materiais perfurocortantes.

Também há a lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecendo ao setor produtivo, aos usuários e ao poder público a responsabilidade compartilhada na destinação correta dada aos produtos e aos bens de consumo, ao final de sua vida útil. A PNRS estabelece ao país, regras para o aproveitamento dos resíduos que puderem ser reciclados; e os rejeitos, que antes eram descartados livremente poluindo o meio ambiente, como os medicamentos, passarão a ser tratados de maneira ambientalmente adequada (Cordeiro *et al.*, 2023).

O elevado percentual de pessoas que usam diariamente medicamentos pode contribuir para a geração de resíduos, que associada a falta de um sistema de logística reversa

efetivo para os medicamentos domiciliares tem como desfecho o descarte inadequado desses resíduos perigosos. (Rausch *et al.*, 2023)

O descarte feito pelo consumidor final é a área mais carente de regulamentação. Não existem orientações claras sobre esse tema. Estabelecimentos que vendem e distribuem medicamentos, como farmácias, drogarias e centros de saúde, não são obrigados por lei a recolher esses produtos, mesmo que ainda estejam dentro do prazo de validade. Adicionalmente, a infraestrutura é inadequada, com a falta de aterros sanitários apropriados e incineradores licenciados em grande parte do território, o que torna difícil a implementação de medidas eficazes que poderiam, ao menos, atenuar o problema. (Vieira, 2021).

A indústria farmacêutica deve adotar uma postura ambientalmente responsável, implementando um Sistema de Gestão Ambiental e a logística reversa. É importante que haja uma pressão gradual do mercado para que as empresas incorporem essa consciência e responsabilidade socioambiental, possibilitando sua inclusão em selos de marketing verde. No entanto, as campanhas de conscientização ainda são limitadas e precisam ser ampliadas. (Souza , 2022).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O descarte inadequado de medicamentos é um grande problema de saúde pública, oferecendo riscos ao ser humano, assim como o meio ambiente. Para atenuar os efeitos ambientais, uma excelente iniciativa é a implementação da logística reversa, que assegura que o medicamento descartado pelo consumidor retorne à indústria para tratamento e/ou reaproveitamento adequado antes de sua disposição final no meio ambiente. O Brasil tem incluído em suas políticas ambientais leis que buscam enfrentar essa problemática. No entanto, a aplicação efetiva desses dispositivos legais para a preservação ambiental ainda é incipiente.

A educação permanente é uma alternativa a longo prazo para essas questões. Tendo em vista que essa atividade é centrada na melhoria da qualidade da vida humana em todas as dimensões da sociedade. Os profissionais que atuam com essa ferramenta, deverão estar capacitados e aptos a trazerem as informações sobre o gerenciamento seguro dos resíduos dos medicamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta publicação agradecem o suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal do Nível Superior - CAPES (88887.840366/2023-00 - Fernanda Nathalia Carneiro Cunha; 88887.840370/2023-00 – Jéssica Tamiris de Freitas Cavalcanti; e da Fundação de Amparo à Ciência em Tecnologia de Pernambuco - FACEPE (IBPG-2237-3.06/22 - João Vitor da Silva Chagas

REFERÊNCIAS

- BILA, D. M; DEZOTTI, M. DESREGULADORES ENDÓCRINOS NO MEIO AMBIENTE: EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ, 2023.
- BISOGNIN, et al. Revisão sobre fármacos no ambiente. Revista DAE , v.66, n.210 , p.78-95, 2018.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2004. Resolução RDC nº 306, de 07/12/2004.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 358 de 29/04/2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, CONAMA, 2001.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 358 de 29/04/2005. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, CONAMA, 2005.
- CORDEIRO, A.F.G, et al. Gerenciamento de resíduos e serviços da saúde. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 6, n. 1, 2023.
- COSTA JÚNIOR, I.L, et al. Ocorrência de fármacos antidepressivos no Meio Ambiente- Revisão. Revista Virtual de Química, v.6, n.5. 2014.
- CUNHA, C. S. M. et al. Relação entre solos afetados por sais e concentração de metais pesados em quatro perímetros irrigados no Ceará. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambienta Campina Grande-PB, v.18. p. 80-85, 2014.
- DUARTE, E. S., et al. Degradação de Fármacos e Impacto Ambiental. Revista Processos Químicos, v. 11, n. 21, p. 83–90, 2 jan. 2017.
- LIPORAGE, A.N., et al. Manejo e descarte dos medicamentos antineoplásicos orais e seus impactos ambientais: revisão de escopo. Revista Pró UniverSUS, v.15 , n. 11, 2024.
- RANGEL, E. M et al. Antidepressivos: Do descarte incorreto aos danos ambientais. Journal of Research in Medicine and Health - JORMED, v. 1, 2023.

- SILVA, E.G. et al. Invertebrados marinhos como biomarcadores de fármacos. Scientific Electronic Archives. v. 13, n. 5, 2021. Disponível em : <http://dx.doi.org/10.36560/14520211278>
- SOUZA, C. L. F.A. Risco ambiental estimado dos resíduos de medicamentos distribuídos pelas Unidades de Atenção Primária à Saúde no município do Rio de Janeiro. 2022. Tese de Doutorado.
- VIEIRA, F.M. Resíduos farmacêuticos: riscos ambientais do descarte inadequado de medicamentos. Natural Resources, v. 11, n. 1, p. 74-81, 2021.
- WILKINSON, J. L et al. Pharmaceutical pollution of the world's rivers. PNAS, v.119, n.8, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>>

CAPÍTULO XII

DESAFIOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM LABORATÓRIOS EDUCACIONAIS

CHALLENGES IN THE MANAGEMENT OF CHEMICAL WASTE IN EDUCATIONAL LABORATORIES

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-12

Stênio Lima Rodrigues¹

Caio Veloso²

Marcos Vinicius de Freitas Borges³

Francisco Antônio Gonçalves de Carvalho⁴

Helder Araújo de Carvalho⁵

Marllon Emanuel Souza Medeiros de Vasconcelos⁶

¹ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Universidade Federal do Piauí). Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

² Doutor em Educação (Universidade Federal do Piauí). Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

³ Doutor em Ciência da Computação (Universidade Federal do Ceará). Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

⁴ Professor da Universidade Estadual do Piauí- Campus Cerrado do Alto Parnaíba.

⁵ Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Universidade Federal do Piauí). Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

⁶ Doutor em Administração (Universidade Federal de Minas Gerais). Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo investigar o manejo dos resíduos químicos no laboratório multidisciplinar do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Codó, com foco na importância do descarte seguro desses materiais para a proteção de professores, estudantes e funcionários. A pesquisa adotou o método de estudo de caso, com a realização de entrevistas com o responsável técnico pelo laboratório e com alunos que frequentam o ambiente. Os resultados evidenciam que a correta classificação e o gerenciamento adequado dos resíduos químicos são fundamentais tanto para a preservação ambiental quanto para a segurança no ambiente escolar. A promoção da conscientização sobre o descarte apropriado desses resíduos se mostra essencial para o desenvolvimento de práticas laboratoriais seguras e sustentáveis. A ênfase na disposição consciente dos resíduos sólidos, especialmente em laboratórios de química, contribui significativamente para a mitigação de riscos e para a construção de um ambiente educacional mais seguro e ecologicamente responsável.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Educação ambiental. Práticas laboratoriais seguras. Conscientização. Gestão de resíduos.

ABSTRACT

This study aims to investigate the management of chemical waste in the multidisciplinary laboratory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão (IFMA), Codó Campus, with a focus on the importance of the safe disposal of such materials to protect teachers, students, and staff. The research adopted a case study approach, including interviews with the laboratory's technical supervisor and students who use the facility. The results highlight that proper classification and adequate management of chemical waste are essential both for environmental preservation and for safety within the educational environment. Promoting awareness regarding the appropriate disposal of these materials is crucial for fostering safe and sustainable laboratory practices. Emphasizing the conscious disposal of solid waste, particularly in chemistry laboratories, significantly contributes to risk mitigation and the development of a safer and more environmentally responsible educational setting.

Keywords: Sustainability. Environmental education. Safe laboratory practices. Awareness. Waste management.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos químicos não se restringe às atividades industriais. Laboratórios em instituições de ensino e pesquisa, embora com menor volume, contribuem significativamente para a produção de resíduos perigosos, estimando-se que representem cerca de 1% desse total em países em desenvolvimento (Tavares; Bendassolli, 2005). Em ambientes universitários, a diversidade desses resíduos é elevada, sendo gerados por estudantes, técnicos e docentes de forma contínua (Silva *et al.*, 2010).

Os resíduos oriundos de laboratórios de ensino, pesquisa e extensão demandam cuidados específicos quanto ao seu armazenamento e descarte, sobretudo por envolverem substâncias que, ao ultrapassarem o prazo de validade, tornam-se impróprias para uso (Alberguni; Silva; Rezende, 2003). O sucesso na gestão desses resíduos está diretamente relacionado ao comprometimento ético dos profissionais envolvidos e à adoção de práticas ambientalmente responsáveis.

O gerenciamento de resíduos envolve etapas como coleta, tratamento e disposição final, e exige atenção à sua natureza física, química e biológica, dada a possibilidade de riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Quinalha *et al.*, 2017). A inadequação dessas práticas pode resultar em impactos significativos, como o comprometimento da qualidade da água e da vida aquática, conforme apontado por Oliveira *et al.* (2020).

No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Codó, o laboratório multidisciplinar é utilizado por diversos cursos e representa uma infraestrutura essencial para o ensino, a pesquisa e a extensão. No entanto, sua relevância também impõe a necessidade de um plano estruturado de gestão de resíduos, alinhado às normas ambientais vigentes.

Este estudo parte da constatação da ausência de práticas sistematizadas de gerenciamento de resíduos químicos nesse laboratório. A pesquisa fundamenta-se na NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), na Resolução CONAMA nº 357/2005 e na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), que oferecem diretrizes para a classificação e o manejo adequado de resíduos sólidos.

Os objetivos deste estudo concentram-se em compreender a importância da prática adequada de gestão de resíduos químicos no contexto da formação acadêmica dos estudantes, com ênfase na segurança, sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Especificamente, busca-se diagnosticar os tipos e volumes de resíduos químicos gerados nas atividades práticas do Curso de Licenciatura em Química do IFMA/Campus Codó e, identificar possibilidades de melhorias no processo de gerenciamento desses resíduos. Ao atingir tais objetivos, pretende-se contribuir para o fortalecimento de uma cultura institucional voltada à minimização de impactos ambientais e à promoção de práticas laboratoriais mais seguras e conscientes.

Ao abordar um tema de crescente relevância ambiental e educacional, este artigo visa contribuir para a construção de práticas laboratoriais mais seguras e sustentáveis, além de fomentar a formação crítica dos estudantes quanto à gestão de resíduos perigosos no contexto institucional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FUNDAMENTOS CONCEITUAIS, CLASSIFICAÇÕES E PRÁTICAS TÉCNICAS DA GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS

A gestão adequada de resíduos químicos exige o entendimento preciso de sua definição, classificação e dos procedimentos técnicos recomendados. Segundo a Resolução CONAMA nº 358/2005, resíduos químicos são materiais que apresentam características de periculosidade — como inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade — e não podem ser reutilizados ou reciclados, oferecendo risco à saúde pública e ao meio ambiente.

A ABNT, por meio da norma NBR 10.004/2004, classifica os resíduos em duas categorias principais: Classe I (perigosos), que incluem solventes halogenados e metais pesados; e Classe II (não perigosos e inertes), que não oferecem riscos imediatos, mas requerem manejo cuidadoso. Forti e Alcaide (2011) destacam que a segregação adequada deve ocorrer ainda no ponto de geração, seguida pelo acondicionamento seguro, identificação, transporte, armazenamento temporário, tratamento e disposição final, em conformidade com normas técnicas e ambientais.

A literatura também enfatiza a importância da química verde como abordagem preventiva, ao buscar eliminar a geração de resíduos por meio do uso de processos menos poluentes e mais seguros (Sanseverino, 2002; Machado, 2011). Essa estratégia está alinhada à lógica da minimização de resíduos, considerada por Jardim (2002) como elemento essencial no desenvolvimento de práticas sustentáveis nos laboratórios acadêmicos.

Além dos aspectos técnicos, a gestão de resíduos envolve a capacitação dos agentes envolvidos. Como ressaltam Silva *et al.* (2010), os resíduos gerados em instituições de ensino

e pesquisa incluem produtos vencidos, reagentes em desuso, sobras de análises químicas e resíduos de limpeza de materiais. Essa diversidade aumenta a complexidade do gerenciamento, exigindo ações coordenadas. Kosminsky e De Medeiros (2009) reforçam que a formação e o treinamento dos profissionais são cruciais para a implementação eficaz de programas como o Plano de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ).

Por fim, Jardim (2002) descreve métodos aplicáveis ao tratamento de resíduos, como a incineração, estabilização e solidificação, e tratamento de efluentes, destacando que a escolha adequada depende da natureza específica do resíduo. Portanto, a efetividade da gestão está diretamente vinculada ao domínio técnico das etapas e à incorporação de práticas éticas e conscientes no cotidiano dos laboratórios.

2.2. NORMAS LEGAIS E RESPONSABILIDADE INSTITUCIONAL NA GESTÃO DE RESÍDUOS EM AMBIENTES ACADÊMICOS

O arcabouço normativo brasileiro estabelece diretrizes sólidas para a gestão dos resíduos químicos, orientando tanto as práticas técnicas quanto os deveres legais das instituições. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, é a principal referência nesse campo. Ela determina a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e enfatiza a necessidade de gestão integrada e sustentável dos resíduos, com foco na prevenção, reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada.

A ABNT NBR 10.004/2004 complementa a PNRS ao classificar os resíduos sólidos em perigosos e não perigosos, servindo de base para definir os métodos de manejo e tratamento. Juntas, essas normativas estabelecem uma estrutura que deve ser seguida pelas instituições públicas e privadas, promovendo a redução de riscos e a sustentabilidade (Brasil, 2010; ABNT, 2004).

Outra legislação importante é a Lei nº 6.938/81, que introduz o princípio da responsabilidade objetiva. Essa abordagem responsabiliza o gerador pelos danos ambientais causados por seus resíduos, independentemente de dolo ou culpa. Isso reforça a necessidade de medidas preventivas e do correto gerenciamento desde a geração até a destinação final.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, estabelece o direito de todos a um ambiente ecologicamente equilibrado, vinculando a cidadania à preservação ambiental (Brasil, 1988). Esse princípio constitucional legitima a atuação das instituições de ensino como

agentes estratégicos na promoção de práticas sustentáveis, especialmente no contexto da formação de profissionais conscientes de suas responsabilidades sociais e ambientais.

Nesse sentido, autores como Afonso *et al.* (2003) e Amorim (2018) argumentam que as universidades têm papel essencial na disseminação de uma cultura ambiental e na formação de uma mentalidade crítica sobre o manejo de resíduos. Ao integrarem a gestão de resíduos aos currículos e práticas institucionais, as instituições não apenas atendem às exigências legais, mas contribuem para a construção de um compromisso coletivo com a sustentabilidade.

Assim, o cumprimento das normas ambientais e a internalização de seus princípios constituem não apenas obrigações legais, mas também oportunidades formativas. A implementação de programas como o PGRQ, aliada à capacitação contínua, fortalece a cultura institucional e a responsabilidade socioambiental no contexto universitário.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, empregando o estudo de caso como delineamento metodológico. A escolha do método proposto por Robert Yin, fundamenta-se em sua eficácia para compreender a natureza de fenômenos sociais complexos em contextos do mundo real, nos quais o pesquisador não exerce controle direto sobre as variáveis (Yin, 2015). O enfoque qualitativo tem como objetivo explorar e explicar subjetividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios.

A pesquisa concentra-se especificamente no laboratório multidisciplinar do IFMA Campus Codó, onde diversas disciplinas realizam experimentos. A escolha desse local específico justifica-se pela sua representatividade como um ambiente real e complexo de gerenciamento de resíduos. A diversidade de disciplinas que utilizam o laboratório proporciona a geração de resíduos químicos, refletindo desafios e práticas variadas de gestão.

Ao adotar essa abordagem, a pesquisa busca não apenas analisar as práticas existentes de gerenciamento de resíduos químicos, mas também compreender as nuances e desafios subjacentes. A aplicação do Estudo de Caso permite uma imersão aprofundada nesse contexto específico, proporcionando insights valiosos para melhorar as estratégias de gestão de resíduos em ambientes educacionais, contribuindo assim para práticas mais sustentáveis e eficazes.

O processo de pesquisa foi iniciado com uma revisão bibliográfica abrangente, que serviu como base para fundamentar as práticas recomendadas de gerenciamento de resíduos químicos. Essa revisão proporcionou um conhecimento teórico detalhado para a análise dos dados obtidos nos questionários. Posteriormente, os questionários foram aplicados aos alunos do IFMA, abordando aspectos como o conhecimento sobre o manuseio, descarte e segurança no laboratório, a fim de capturar percepções e contribuir para o aprimoramento das práticas de gestão de resíduos químicos na instituição.

Os dados para este estudo foram obtidos por meio da aplicação de questionários direcionados para o técnico do laboratório e aos alunos da licenciatura em Química IFMA, com o propósito de aprofundar a compreensão acerca do manejo e descarte dos resíduos químicos na instituição.

O questionário foi escolhido como instrumento principal para a coleta de dados, proporcionando averiguar sobre o nível de conhecimento dos discentes em relação ao manejo e à destinação adequada de substâncias químicas. A opção por essa abordagem visou identificar percepções e entendimentos dos alunos, fornecendo uma visão abrangente das práticas e atitudes relacionadas ao gerenciamento de resíduos químicos.

Antes da aplicação dos questionários, todos os participantes receberam e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme preconiza a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Esse procedimento teve como finalidade assegurar que os respondentes fossem devidamente informados sobre os objetivos, a metodologia, os possíveis riscos e benefícios da pesquisa, bem como sobre a confidencialidade das informações prestadas e o direito de recusa ou desistência a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Dessa forma, garantiu-se a participação voluntária, consciente e ética dos envolvidos, respeitando os princípios fundamentais da dignidade, autonomia e integridade dos sujeitos da pesquisa.

A análise dos dados coletados foi conduzida por meio de categorização e interpretação qualitativa, com o intuito de identificar padrões e temas relevantes no que tange ao gerenciamento de resíduos químicos. Essa abordagem qualitativa permite uma compreensão mais profunda das percepções dos alunos, contribuindo para a contextualização e interpretação aprimoradas dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O PAPEL DO LABORATÓRIO NA FORMAÇÃO ACADÊMICA E PROFISSIONAL

As respostas coletadas evidenciam que o laboratório multidisciplinar do IFMA Campus Codó é um espaço de grande importância para a vivência prática dos conteúdos teóricos trabalhados nas disciplinas. Seu uso, no entanto, ainda se mostra mais frequente em atividades de pesquisa científica do que em disciplinas regulares, o que pode ser reflexo tanto da estrutura curricular quanto de questões logísticas e de infraestrutura. De acordo com Sanseverino (2002), o ensino de ciências deve privilegiar a experimentação como forma de construção ativa do conhecimento, o que reforça a necessidade de ampliar e sistematizar o uso do laboratório nas diversas etapas do curso.

Essa constatação se alinha à ideia de que o aprendizado por meio da prática não apenas consolida conceitos, mas também prepara os discentes para os desafios do mercado de trabalho e da atuação docente, ao desenvolver habilidades técnicas, analíticas e éticas. Contudo, os dados indicam que o uso do laboratório ainda é limitado por fatores como a baixa frequência de aulas práticas, a ausência de um laboratório exclusivo para química e a carência de reagentes e equipamentos. Tais limitações comprometem a qualidade da formação, como alertam Figuerêdo (2006) e Kosminsky e De Medeiros (2009), ao defenderem que a precariedade das estruturas laboratoriais em instituições públicas brasileiras constitui uma barreira à formação plena de profissionais da área de ciências.

4.2. SEGURANÇA E NORMAS DE FUNCIONAMENTO: ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA

O levantamento das normas de funcionamento do laboratório revelou a existência de um conjunto robusto de diretrizes que abrangem segurança, uso de equipamentos de proteção, manuseio de substâncias e protocolos para casos de emergência. No entanto, os relatos apontam para uma dissociação entre o que está normatizado e o que é efetivamente praticado no cotidiano. Essa lacuna é particularmente preocupante quando se trata de resíduos químicos, cujas características de inflamabilidade, toxicidade, corrosividade e reatividade exigem um gerenciamento criterioso e especializado (Oliveira *et al.*, 2020).

Conforme demonstrado nas respostas do técnico responsável, há práticas como o descarte de substâncias neutralizadas diretamente na pia, o acúmulo de frascos de reagentes

vencidos e a não implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ), embora ele tenha sido elaborado. Esses achados confirmam o que já é amplamente discutido na literatura: a mera existência de normas não é suficiente para garantir a segurança e a sustentabilidade, sendo imprescindível investir em capacitação, fiscalização e acompanhamento contínuo (Afonso *et al.*, 2003).

4.3. A PERCEPÇÃO DISCENTE SOBRE RESÍDUOS QUÍMICOS: LACUNAS E POTENCIALIDADES

As respostas dos estudantes revelam um conhecimento incipiente sobre resíduos químicos e seus riscos, ao mesmo tempo em que demonstram sensibilidade quanto aos impactos ambientais do descarte inadequado. Muitos reconheceram os resíduos como perigosos e destacaram a necessidade de separação, armazenamento e descarte adequados, mencionando inclusive a existência de empresas responsáveis pela coleta, embora alguns tenham demonstrado desconhecimento sobre o destino final desses materiais.

Esse cenário revela uma contradição: ao mesmo tempo em que os alunos compreendem a periculosidade dos resíduos e a importância de seu manejo correto, carecem de informações claras e consistentes sobre os procedimentos institucionais. Isso evidencia uma fragilidade na comunicação interna e na formação continuada em temas ambientais e de segurança. Como defendem Jardim (2002) e Silva *et al.* (2010), a educação ambiental deve ser transversal e contínua, permeando todas as ações institucionais e envolvendo ativamente os estudantes como protagonistas no cuidado com o ambiente.

4.4. TIPOS E VOLUMES DE RESÍDUOS GERADOS: DIAGNÓSTICO E IMPLICAÇÕES

A caracterização dos resíduos gerados no laboratório – líquidos, sólidos, vencidos, frascos utilizados – indica um ambiente onde há produção significativa de resíduos potencialmente perigosos. A prática de armazenar substâncias vencidas sem descarte adequado, aliada ao descarte na pia, mesmo após neutralização, configura uma situação de risco à saúde pública e ao meio ambiente, especialmente considerando a localização rural do campus e a fragilidade dos sistemas de escoamento.

A ausência de dados sistematizados sobre os volumes exatos dos resíduos gerados representa outro desafio, limitando a possibilidade de mensuração precisa dos impactos ambientais e dificultando a elaboração de estratégias eficazes de minimização. Conforme

ênfatiza Brasil (2010), por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o primeiro passo para a gestão adequada é o diagnóstico completo da geração, natureza e destino dos resíduos. A falta de um inventário consolidado impede a instituição de monitorar e avaliar suas próprias práticas de forma crítica e propositiva.

4.5. PROPOSTAS DE MELHORIA: DESAFIOS INSTITUCIONAIS E CAMINHOS POSSÍVEIS

As sugestões apresentadas pelos estudantes e pelo técnico entrevistado convergem para a necessidade de uma ação institucional mais estruturada e abrangente. Entre os pontos mais recorrentes, destacam-se: (i) criação de um laboratório exclusivo para a área de química; (ii) investimentos em equipamentos e reagentes; (iii) implementação de um sistema informatizado de controle de estoque; (iv) capacitação contínua de professores e alunos em segurança e sustentabilidade; (v) execução efetiva do PGRQ; e (vi) institucionalização de um setor responsável pela gestão de resíduos.

A literatura aponta que melhorias significativas só são possíveis quando há engajamento institucional, definição clara de responsabilidades e alocação de recursos adequados (Paim; Palma; Eifler, 2002). A transformação de atitudes, conforme esses autores, é um processo gradual, que exige respaldo das instâncias superiores, avaliação constante e clareza nas metas estabelecidas. O compromisso com a sustentabilidade deve ir além do discurso e se materializar em ações concretas e permanentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como propósito compreender a importância da prática adequada de gestão de resíduos químicos no contexto da formação acadêmica dos estudantes do Curso de Licenciatura em Química do IFMA – Campus Codó, com ênfase na segurança, sustentabilidade e responsabilidade ambiental. A partir da abordagem qualitativa, fundamentada em um estudo de caso, foi possível diagnosticar a realidade do laboratório multidisciplinar da instituição, identificar os tipos de resíduos gerados e apontar possibilidades concretas de melhorias no gerenciamento desses resíduos.

Os resultados obtidos evidenciam avanços pontuais, como a existência de normas institucionais, o conhecimento parcial dos discentes sobre os riscos dos resíduos químicos e a percepção da importância de práticas sustentáveis. Contudo, também revelam lacunas significativas, como a ausência de controle sistematizado de resíduos, o não funcionamento

efetivo de um plano de gerenciamento e o descarte inadequado de substâncias na pia. Tais fragilidades indicam que as práticas adotadas ainda não são suficientes para garantir um ambiente laboratorial plenamente seguro e ambientalmente responsável.

A pesquisa reforça que a gestão de resíduos químicos em laboratórios escolares deve ser compreendida como parte integrante do processo formativo. Trata-se não apenas de uma questão técnica, mas também ética, pedagógica e institucional. Nesse sentido, recomenda-se a efetiva implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Químicos, o fortalecimento de ações de educação ambiental voltadas a toda a comunidade acadêmica e a institucionalização de um setor responsável por monitorar e orientar o descarte e armazenamento desses resíduos.

Como limitação, destaca-se que este estudo concentrou-se em um único *campus*, o que restringe a generalização dos achados. No entanto, os resultados oferecem subsídios relevantes para outras instituições que enfrentam desafios semelhantes. Sugere-se, para investigações futuras, a ampliação da amostra, incluindo professores, gestores e servidores técnicos, bem como a realização de estudos comparativos entre diferentes instituições públicas de ensino.

Conclui-se, portanto, que a adoção de práticas mais seguras e sustentáveis no manejo de resíduos químicos depende de uma articulação entre infraestrutura adequada, formação continuada, compromisso institucional e engajamento coletivo. Ao valorizar essas dimensões, o IFMA poderá avançar no cumprimento de seu papel social e ambiental, promovendo uma formação mais crítica, consciente e comprometida com os desafios contemporâneos da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. C. *et al.* **Gerenciamento de resíduos laboratoriais**: recuperação de elementos e preparo para descarte final. Rio de Janeiro, 2003.
- ALBERGUINI, L. B. A.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. Laboratório de resíduos químicos do Campus USP - São Carlos: resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um Campus universitário. **Química Nova**, v. 26, n. 2, p. 291-295, 2003.
- AMORIM, P. M. DA S. Estratégias de tratamento de resíduos químicos gerados na FCF/USP. **Dissertação (Mestrado)** – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2025.

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

FIGUERÊDO, D. V. **Manual para Gestão de Resíduos Químicos Perigosos de Instituições de Ensino e de Pesquisa**. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química de Minas Gerais, 2006.

FORTI, M. C.; ALCAIDE, R. L. M. **Normas de procedimentos para separação, identificação, acondicionamento e tratamento de resíduos químicos do laboratório de aerossóis, soluções aquosas e tecnologias-laquatec**. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2011.

JARDIM, W. de F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 671-673, 1998.

KOSMINSKY, L.; DE MEDEIROS, M. A. C. Programas de gestão de resíduos em universidades: a importância de cursos de capacitação. In: ZANIN, M.; GUTIERREZ, R. F. (Org.). **Economia solidária: tecnologias em reciclagens de resíduos para geração de trabalho e renda**. São Carlos: Claraluz, 2009.

MACHADO, V. S. **Importância da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2011.

OLIVEIRA, D. B. *et al.* A construção de conceitos de gestão e tratamento de produtos químicos: uma experiência de formação de estudantes de química. **Química Nova**, v. 43, n. 3, p. 382-390, 2020.

PAIM, C. P.; PALMA, E. C.; EIFLER-LIMA, V. L. Gerenciar resíduos químicos: uma necessidade. **Caderno de Farmácia**, UFRGS, v. 18, n. 1, 2002.

QUINALHA, M. C. *et al.* Gerenciamento de resíduos nos laboratórios do departamento acadêmico de Química e Biologia na UTFPR. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. **Anais [...]**, Curitiba, 2017.

SANSEVERINO, A. M. Química verde. **Ciência Hoje**, v. 8, n. 8, p. 20-27, 2002.

SILVA, A. R. *et al.* Gerenciamento de resíduos químicos na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. **Revista Tecnológica Maringá**, v. 24, p. 41-52, 2015.

TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. Implantação de um Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos e Águas Servidas nos Laboratórios de Ensino e Pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, v. 28, n. 4, jul./ago. 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Tradução de Daniel Grassi. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

CAPÍTULO XIII

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS PARA O CONTROLE DE AEDES AEGYPTI: UMA REVISÃO

METHODS AND PROCEDURES FOR THE CONTROL OF AEDES AEGYPTI: A REVIEW

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-13

Johny Adrian Rodrigues Nascimento Oliveira¹

Renara Fabiane Ribeiro Correa²

Mayra Fernanda Froes³

Edinaria Silva Alves⁴

Nayara Rafaelle Corrêa Silva⁵

Tássio Rômulo Silva Araújo Luz⁶

Denise Fernandes Coutinho⁷

¹ Mestre em Saúde e Ambiente. Universidade Federal do Maranhão – UFMA

² Mestra em Saúde e Ambiente. Universidade Federal do Maranhão – UFMA

³ Mestra em Saúde e Ambiente. Universidade Federal do Maranhão – UFMA

⁴ Especialista em Promoção da Saúde e Desenvolvimento Social. Ensp – FIOCRUZ

⁵ Mestra em Saúde e Ambiente. Universidade Federal do Maranhão – UFMA

⁶ Doutor em Ciências da Saúde. Universidade Federal do Maranhão – UFMA

⁷ Doutora em Produtos Naturais e Sintéticos e Bioativos. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

RESUMO

As Arboviroses transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, como dengue, zika e chikungunya, são consideradas doenças negligenciadas por atingirem países em desenvolvimento e despertarem pouco interesse da indústria para desenvolvimento de tratamentos. De acordo com a OMS, o controle das arboviroses continua sendo um desafio significativo, devendo ser concentrado no monitoramento do vetor. Mesmo com recursos disponíveis, os programas de combate ao vetor nem sempre obtêm os resultados esperados. Este estudo, de natureza qualitativa, trata-se de uma revisão de literatura sobre os principais métodos e procedimentos utilizados no controle desse mosquito. Diversas estratégias estão em desenvolvimento, baseadas em diferentes mecanismos de ação, como monitoramento seletivo, intervenções sociais, aplicação de inseticidas, uso de agentes biológicos e técnicas moleculares voltadas ao controle populacional. A possibilidade de combinar essas abordagens também vem sendo considerada. A avaliação da eficácia, viabilidade e custos dessas tecnologias é essencial para sua adoção como complemento às

ações já previstas pelo Programa Nacional de Controle da Dengue existente no Brasil. A integração de estratégias compatíveis e adaptadas às realidades regionais se mostra uma alternativa promissora para a redução da infestação do mosquito e, conseqüentemente, da incidência das arboviroses por ele transmitidas. A revisão evidencia a importância de ações integradas e intersetoriais, apoiadas por políticas públicas, educação comunitária e avanços científicos, como caminhos para o enfrentamento das arboviroses e o fortalecimento das estratégias nacionais de vigilância em saúde.

Palavras-chave: Controle vetorial. Controle de Mosquitos. Arboviroses.

ABSTRACT

Arboviral diseases transmitted by the *Aedes aegypti* mosquito, such as dengue, Zika, and chikungunya, are considered neglected tropical diseases due to their prevalence in developing countries and the limited interest from the pharmaceutical industry in developing effective treatments. According to the World Health Organization (WHO), controlling

arboviruses remains a significant global challenge, with efforts needing to focus primarily on vector surveillance. Despite the availability of resources, vector control programs often fail to achieve the desired outcomes. This qualitative study presents a literature review on the main methods and procedures used to control *Aedes aegypti*. Various strategies are under development, based on different mechanisms of action, including selective monitoring, social interventions, insecticide application, the use of biological agents, and molecular techniques aimed at reducing mosquito populations. The combination of these approaches is also being considered as a potential strategy. Evaluating the effectiveness, feasibility, and cost-efficiency of these technologies is crucial for their adoption as complementary measures to those

already established under the National Dengue Control Program in Brazil. The integration of context-adapted strategies presents a promising alternative for reducing mosquito infestation and, consequently, the incidence of arboviral infections. The review emphasizes that integrated and regionally adapted strategies, grounded in scientific evidence, economic viability, and environmental safety, offer the most effective path toward reducing mosquito infestations and the incidence of arboviral diseases. Strategic planning, intersectoral coordination, and community engagement are essential to enhance the sustainability and success of national vector control initiatives.

Keywords: Vector control. Mosquito control. Arboviruses.

1. INTRODUÇÃO

As arboviroses representam relevantes problemas de saúde pública em regiões tropicais e subtropicais, em razão de diversos fatores que favorecem tanto a transmissão quanto a replicação dos vírus responsáveis por essas doenças. Entre os principais elementos que contribuem para a disseminação e a permanência dos arbovírus no ambiente, destacam-se o crescimento populacional, as mudanças climáticas, a rápida destruição dos biomas, a urbanização desordenada e a expansão geográfica do vetor. Esses fatores, em conjunto, favorecem o surgimento de infecções com espectros clínicos preocupantes, ampliando o impacto dessas enfermidades nas populações afetadas (Girard et al., 2020, Tajudeen et al., 2021).

No Brasil, o cenário das arboviroses tornou-se ainda mais desafiador devido à coexistência de múltiplos agentes virais transmitidos pelo *Aedes aegypti*. A circulação simultânea dos quatro sorotipos do vírus da dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4) já configurava uma situação epidemiológica preocupante, à qual se somou, em 2014, a introdução do vírus chikungunya, e, em 2015, a entrada do vírus Zika no território nacional. Esse contexto marcou o início da transmissão paralela de diferentes arbovírus, dificultando o controle das doenças e ampliando os desafios para os sistemas de saúde pública (Sousa et al., 2023).

O controle do mosquito *Aedes aegypti* tem sido um grande desafio, especialmente em países em desenvolvimento. Mesmo quando os recursos destinados ao controle do vetor são adequados para a implementação de programas, o sucesso nem sempre é alcançado. Fatores

como deficiências na infraestrutura urbana, incluindo a coleta inadequada de lixo e a intermitência no abastecimento de água, comprometem a eficácia dos métodos tradicionais de controle do *Aedes* (Almeida et al., 2020).

Raramente esses mosquitos são encontrados em ambientes semissilvestres ou em locais com pouca presença humana. Seus criadouros preferenciais são recipientes artificiais, tanto aqueles expostos ao ar livre, que acumulam água da chuva, quanto os utilizados para armazenamento de água para uso doméstico. A proximidade desses criadouros com áreas habitadas pelo homem favorece a rápida proliferação da espécie, devido às condições ideais para reprodução e à disponibilidade de fontes de alimentação (Almeida et al., 2020).

As adaptações do *A. aegypti* favoreceram sua proliferação em áreas urbanas e facilitaram sua dispersão para outras regiões por meio do transporte humano. Isso aumentou sua competência vetorial, ou seja, sua capacidade de ser infectado por um vírus, replicá-lo e transmiti-lo. Além disso, a fêmea realiza múltiplas ingestões de sangue durante um único ciclo gonadotrófico, ampliando sua capacidade de se infectar e propagar os vírus, o que a torna um vetor altamente eficiente. Outro fator que contribui para a persistência da espécie é a quiescência dos ovos, permitindo a manutenção do ciclo na natureza mesmo diante de variações climáticas sazonais. Os ovos do *Aedes aegypti* podem permanecer viáveis por até 492 dias em condições de seca, eclodindo assim que entram em contato com a água (Christophers, 1960, Kraemer et al., 2015, Consoli; Oliveira, 1994, Brasil, 2024).

Atualmente, o Brasil enfrenta uma alta incidência de arboviroses como dengue (DEN), chikungunya (CHIK) e zika, com dados epidemiológicos indicando um número alarmante de casos graves e óbitos. Além disso, a relação do vírus Zika com a síndrome de Guillain-Barré e, sobretudo, com a transmissão vertical, resultando em casos de microcefalia, tem gerado preocupação tanto em nível nacional quanto internacional (Spletozer et al., 2021).

A principal estratégia para a erradicação de mosquitos consiste no uso de inseticidas sintéticos, como organofosforados (temefós), carbamatos (cabaril e carbofurano) e piretroides (Cielo). No entanto, a exposição prolongada desses organismos aos produtos químicos pode levar ao desenvolvimento de resistência, dificultando o controle das populações de mosquitos e favorecendo a disseminação de doenças (Achee et al., 2015). Além disso, devido à alta toxicidade desses inseticidas e seus efeitos cumulativos no ecossistema, seu uso prolongado pode resultar em impactos negativos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (Marques, 2020, Figueiredo, 2019).

Diante dos desafios no controle do vetor e do cenário preocupante causado pela expansão das arboviroses em nível global, este estudo torna-se essencial ao descrever a adoção de estratégias específicas de controle de *A. aegypti*. Isso requer maiores investimentos em métodos eficazes que garantam a sustentabilidade das ações implementadas pelas redes de vigilância, além de possibilitar a avaliação contínua de sua efetividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa qualitativa do tipo revisão de literatura sobre métodos e procedimentos usados no controle do *Aedes aegypti*. A busca dos artigos científicos em português, inglês e espanhol foram realizados nas bases de dados PubMed, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Google acadêmico, além do uso de livros e dissertações de mestrado e doutorado. Os descritores utilizados foram consultados no DECS (Descritores em Ciência da Saúde): na pesquisa foram: Controle vetorial, Controle de Mosquitos, Insetos, *Aedes aegypti*, empregando boleador “and”.

Para o presente estudo foi estabelecido os seguintes critérios de inclusão: artigos científicos disponíveis em texto completo, artigos disponíveis nos idiomas português, espanhol e inglês, além de dissertações, teses e livros que abordassem os principais métodos e procedimentos usados no controle do *Aedes aegypti*, com período de publicação de 1997 a 2025 (Pereira et al., 2018).

Já os critérios de exclusão, foram os artigos que não estavam de acordo com o objetivo da pesquisa ou sem pontos relevantes sobre o tema e que não se adequava no período de publicação estabelecida da pesquisa ou estarem repetidos ou em outras línguas além da indicadas na inclusão (Pereira et al., 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROGRAMAS DE CONTROLE DE A. AEGYPTI NO BRASIL

A partir de 1996, o Ministério da Saúde implementou o Plano de Erradicação de *Aedes aegypti* (PEAa), que propunha uma ação multissetorial e um modelo descentralizado com a participação dos três níveis de governo, tendo como objetivo principal a redução dos casos de dengue hemorrágica. Contudo, apesar dos esforços para estruturar o combate ao vetor nos municípios, o PEAa não alcançou a efetiva atuação multissetorial, o que pode ser apontado como um dos fatores responsáveis pelo insucesso na contenção do aumento dos casos de dengue e pela expansão da infestação por *Aedes aegypti* (Braga; Valle, 2007, Brasil, 2009).

Com o apoio do Ministério da Saúde e dos governos estaduais, as secretarias municipais de saúde assumiram a gestão e a execução das ações do Plano Nacional de Controle da Dengue (PNCD). O plano abrangia dez componentes principais: vigilância epidemiológica, controle do vetor, atendimento aos pacientes, integração com a atenção básica, ações de saneamento ambiental, educação em saúde, comunicação e mobilização social, capacitação de profissionais, regulamentação por meio de legislação, sustentação político-social e monitoramento e avaliação das ações implementadas (Figueiró et al., 2010, Brasil, 2009, Brasil, 2002a).

Dessa forma, o programa deixou de se concentrar exclusivamente no combate ao vetor e passou a incorporar adaptações conforme as particularidades locais, incluindo a possibilidade de desenvolver planos sub-regionais (WHO, 1997).

3.2. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE

No Brasil, os Agentes Comunitários de Saúde (ACS) e os Agentes de Combate a Endemias (ACE), em colaboração com a população, exercem um papel essencial no controle tanto mecânico quanto químico do vetor. Suas atividades são direcionadas à identificação, eliminação e ao manejo adequado de reservatórios naturais ou artificiais de água que possam funcionar como criadouros do *Aedes aegypti*. (Manrique-Saide et al., 2015).

O controle de *A. aegypti* pode ser realizado por meio de quatro principais mecanismos: mecânico, biológico, genético e químico. O controle mecânico consiste na adoção de práticas que eliminam o vetor e seus criadouros ou reduzem o contato do mosquito com o ser humano, como a remoção ou destinação adequada de recipientes que possam acumular água, a drenagem de reservatórios e a instalação de telas em portas e janelas. O controle biológico baseia-se no uso de predadores naturais e microrganismos para reduzir a população do mosquito, incluindo peixes e invertebrados aquáticos que se alimentam de larvas e pupas, além de patógenos como bactérias, fungos e parasitas, que liberam toxinas letais para o vetor (Manrique-Saide et al., 2015, Serejo et al., 2024, Brasil, 2002b).

A terapia gênica baseia-se na transferência de material genético para o interior das células de um indivíduo, visando corrigir genes associados a características patológicas. Para a eficácia dessa abordagem, é essencial assegurar tanto a entrega eficiente quanto a expressão adequada dos genes terapêuticos (Brasil, 2001).

Já o controle químico envolve a aplicação de substâncias específicas, como neurotóxicos, análogos do hormônio juvenil e inibidores da síntese de quitina, para eliminar larvas e mosquitos adultos. No entanto, essa estratégia deve ser utilizada de forma racional e segura, pois o uso indiscriminado pode favorecer a seleção de vetores resistentes e gerar impactos ambientais. Por esse motivo, o controle químico deve ser empregado como uma medida complementar às ações de vigilância e manejo ambiental (Manrique-Saide et al., 2015, Serejo et al., 2024, Brasil, 2002b).

O tratamento perifocal consiste na aplicação de uma camada de inseticida de ação residual nas superfícies externas dos criadouros localizados em pontos estratégicos, utilizando um aspersor manual. Essa medida é indicada para áreas recentemente infestadas, funcionando como uma ação complementar ao tratamento focal em locais estratégicos (Manrique-Saide et al., 2015, Santos et al., 2020).

A aspersão aeroespacial de inseticidas em ultrabaixo volume (UBV) é realizada por meio de equipamentos portáteis costais ou acoplados a veículos, tendo como principal objetivo eliminar os mosquitos *Aedes aegypti* na fase adulta. Esse método deve ser empregado exclusivamente para o bloqueio da transmissão e no controle de surtos ou epidemias. No entanto, a nebulização não é seletiva, afetando qualquer mosquito presente no ambiente, e seu uso indiscriminado para o combate de outros insetos não é recomendado (Figueiró et al., 2010).

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas como alternativas para o controle do *Aedes aegypti*, empregando diferentes mecanismos de ação. Essas estratégias incluem medidas sociais, monitoramento seletivo da infestação, dispersão de inseticidas, novos agentes de controle químico e biológico, além de abordagens moleculares voltadas para a regulação populacional dos mosquitos, muitas vezes combinando múltiplas técnicas para maior efetividade.

3.3. MAPEAMENTO DE RISCO

O mapeamento de risco é uma estratégia promissora para identificar e avaliar áreas com maior potencial de transmissão de arboviroses em determinados territórios, utilizando estatísticas espaciais locais. Ao integrar dados espaciais com informações da vigilância entomológica como presença, características e índices de infestação do vetor, além da eficácia dos métodos de controle, da vigilância epidemiológica, da rede laboratorial e do saneamento,

é possível direcionar de forma mais eficiente as ações de controle vetorial para áreas prioritárias (Almeida et al., 2020).

3.4. COMPOSTOS NATURAIS

Como alternativa ao controle químico convencional, compostos naturais, como os óleos essenciais extraídos de plantas, têm sido estudados por seu potencial atividade larvícida contra *A. aegypti*. As propriedades de determinados grupos químicos presentes em sua estrutura, assim como a combinação entre esses compostos, podem influenciar significativamente no aumento ou na redução da eficácia larvícida e adultícida (Luz et al., 2020).

Essa área de pesquisa tem despertado grande interesse, considerando a necessidade de desenvolver inseticidas que sejam ao mesmo tempo eficazes e seguros para a população e para o meio ambiente. Em um estudo conduzido por Santos et al., (2020) observou-se que determinados compostos apresentaram boa atividade larvícida contra o *Aedes aegypti*, sendo que a potência foi ainda maior entre aqueles com grupamentos químicos de maior lipofilicidade.

Esses compostos são considerados seguros, uma vez que muitos já são utilizados como aditivos aromatizantes em alimentos destinados ao consumo humano como é o caso do limoneno, presente na casca de frutas cítricas como laranjas e limões. É importante destacar que, além de apresentarem atividade larvícida, esses novos compostos também devem demonstrar efeito residual prolongado nos locais onde são aplicados. Essa característica é fundamental para que possam ser adotados em ações de controle vetorial em campanhas de saúde pública (Angotti et al., 2024).

3.5. WOLBACHIA

Como estratégia de controle biológico do vetor, vem sendo estudado o uso da *Wolbachia*, uma bactéria simbiote intracelular, inofensiva para seres humanos e animais domésticos, que ocorre naturalmente em mais de 60% das espécies de insetos. *Wolbachia* tem a capacidade de reduzir significativamente a expectativa de vida dos mosquitos adultos e de induzir incompatibilidade citoplasmática completa, resultando em uma progênie estéril (Barros, 2021).

A técnica consiste em introduzir cepas específicas da bactéria *Wolbachia* em mosquitos *Aedes aegypti*, com o objetivo de interromper seu ciclo reprodutivo. Quando

machos infectados com *Wolbachia* acasalam com fêmeas não infectadas, os ovos gerados não se desenvolvem, impedindo a eclosão. Por outro lado, quando tanto o macho quanto a fêmea possuem a bactéria, ela é transmitida às próximas gerações. Com o tempo, a expectativa é que a maioria da população de mosquitos esteja infectada, reduzindo a transmissão dos vírus e, consequentemente, controlando a propagação das arboviroses (Barros, 2021).

3.6. MOSQUITOS DISPERSORES DE INSETICIDAS

Mosquitos dispersores de inseticidas têm sido utilizados com sucesso em experimentos como uma estratégia inovadora de controle de *A. aegypti*. A técnica baseia-se na atração das fêmeas até pequenas armadilhas conhecidas como estações de disseminação, que contêm o inseticida piriproxifeno em pó. Ao entrarem nessas estações, as partículas do produto aderem ao corpo dos mosquitos, que posteriormente as transportam para criadouros situados em um raio de até 400 metros. Quando as fêmeas pousam nesses locais para depositar seus ovos, acabam transferindo o inseticida para a água, tornando os criadouros letais para as larvas (Neto et al., 2019).

3.7. DISPOSITIVOS COM INSETICIDAS

Uma alternativa prática para uso em ambientes domiciliares são os dispositivos plásticos com inseticidas de liberação lenta e contínua, cujo efeito pode durar até 20 dias. Essa estratégia tem se mostrado eficaz tanto na prevenção das picadas quanto na eliminação das fêmeas do *Aedes aegypti*. A exposição dos mosquitos a formulações com 5% ou 10% de metoflutrina praticamente elimina sua capacidade de picar. Em questão de minutos, as fêmeas do *Aedes aegypti* ficam desorientadas e passam a se recolher em áreas de repouso (Figueiró et al., 2010).

3.8. MOSQUITOS TRANSGÊNICOS

As abordagens genéticas para o controle de vetores vêm sendo aprimoradas e, em geral, envolvem duas etapas principais. A primeira consiste na supressão ou eliminação da população de mosquitos por meio da inserção de genes letais ou que induzam esterilidade. A segunda etapa foca na modificação genética da população remanescente, com a introdução de genes que impeçam ou reduzam a capacidade de transmissão de patógenos pelos insetos (Brasil, 2001).

No caso dos mosquitos, a criação em larga escala para posterior liberação no ambiente requer o uso de tecnologias de sexagem, pois somente os machos devem ser liberados. Isso

se deve ao fato de que os machos não se alimentam de sangue, ao contrário das fêmeas, o que minimiza o risco de picadas e, conseqüentemente, de transmissão de doenças (Brasil, 2001).

Em abril de 2014, a cepa OX513A, composta por mosquitos transgênicos desenvolvidos pela empresa britânica Oxitec, obteve aprovação técnica da Comissão Técnica Nacional da Segurança.

3.9. ROUPAS IMPREGNADAS COM INSETICIDAS

Uma estratégia complementar de controle vetorial direcionada ao público infantil envolve o uso de uniformes escolares impregnados com inseticidas. Essa tecnologia, originalmente desenvolvida para uso militar em operações em ambientes de selva, tem como objetivo prevenir a exposição às picadas de mosquitos durante o período em que as crianças permanecem no ambiente escolar. Contudo, sua eficácia é limitada ao tempo de uso dos uniformes, restringindo-se aos dias letivos e ao horário escolar. Apesar dessa limitação, trata-se de uma tecnologia promissora, especialmente no contexto da proteção de gestantes contra o vírus Zika, agente etiológico associado à microcefalia e a outras malformações do sistema nervoso central (Neto et al., 2019).

3.10. TELAS IMPREGNADAS COM INSETICIDAS

As telas impregnadas com inseticidas são instaladas em janelas e portas de residências, escolas e unidades de saúde localizadas em áreas com elevada incidência de casos notificados. Essas telas contêm deltametrina e apresentam proteção contra radiação ultravioleta, o que contribui para a sua durabilidade. No entanto, uma limitação importante dessa tecnologia é sua implementação bem-sucedida apenas em contextos específicos principalmente em domicílios situados em regiões de baixo a médio nível socioeconômico e com baixa densidade de edificações verticalizadas o que compromete sua aplicabilidade em áreas com diferentes características urbanas (Rossi et al., 2021).

3.11. ABORDAGEM SOCIAL

A abordagem social caracteriza-se pela união entre educação social e cuidado ambiental como estratégias complementares no controle do mosquito *Aedes*. Essa perspectiva se apoia em três elementos centrais: a transdisciplinaridade, que propõe uma visão integrada e inclusiva dos problemas de saúde relacionados ao ecossistema; o envolvimento ativo de diversos atores, especialmente da comunidade local, promovendo uma

atuação colaborativa; e a equidade, que busca garantir a participação justa de homens, mulheres e diferentes grupos sociais nas ações de prevenção e combate (Almeida et al., 2020).

Essa abordagem, na prática, é realizada de forma colaborativa por diferentes setores da comunidade, combinando ações de educação em saúde e ambiental com o uso de estratégias mecânicas, sem depender de inseticidas para o controle do mosquito. Materiais educativos social e culturalmente adequados são criados e utilizados por diversos grupos, como mulheres, estudantes, gestores e novos voluntários engajados na causa da saúde ambiental. As atividades se concentram principalmente na remoção de locais com acúmulo de água, na vedação de recipientes que oferecem condições para a reprodução do mosquito e na colocação de telas em portas e janelas como barreiras físicas de proteção (Almeida et al., 2020, Neto et al., 2019).

A tabela 1 reúne as principais vantagens e limitações das tecnologias consideradas promissoras para o controle do *Aedes aegypti*, destacando tanto as estratégias de controle vetorial recomendadas pelo Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD) quanto aquelas com potencial para complementar as ações desenvolvidas no Brasil. Ainda que não tenha como objetivo apresentar todas as abordagens existentes ou em fase de desenvolvimento no mundo, o levantamento oferece um panorama das alternativas disponíveis. Contudo, é importante salientar que as ações adotadas pelos municípios, conforme as diretrizes do PNCD, têm apresentado resultados limitados na redução da infestação pelo mosquito em grande parte do território nacional, o que tem contribuído para o aumento dos casos de dengue, chikungunya e Zika.

Para que uma tecnologia seja considerada apropriada para o controle vetorial, ela deve ser eficaz e segura, permitir aplicação ampla em tempo oportuno, ser compatível com as práticas já adotadas, ter custos viáveis para implementação e manutenção contínua, apresentar sustentabilidade a longo prazo e gerar o menor impacto possível ao meio ambiente e à saúde da população (Barros, 2021).

Tabela 1 – Estratégias tecnológicas para o controle de *Aedes aegypti*: funcionamento, benefícios e desafios

Categoria	Forma de Controle	Mecanismo	Principais Vantagens	Principais Desafios	Referência
Mapeamento e Monitoramento	Mapeamento de risco	Ações específicas baseadas em análise geoespacial de risco	Integração com outras tecnologias; Otimiza alocação de recursos.	Depende da qualidade dos dados; Integração complexa de fontes de dados.	Who, 2022; MS Brasil, 2023
Métodos Biológicos	Compostos naturais	Uso de extratos vegetais com efeito larvicida	Alternativa segura aos inseticidas sintéticos; Menor impacto ambiental.	Falta de padronização; Necessidade de validação científica ampla.	Sousa et al., 2022; Silva et al., 2023
	<i>Wolbachia</i>	Bactéria que impede a transmissão de arbovírus ao colonizar mosquitos	Método autossustentável; Sem uso de químicos tradicionais.	Sucesso dependente de fatores ambientais; Protocolos de soltura ainda em padronização.	Moreira et al., 2022; Who, 2023
Disseminação Controlada	Mosquitos dispersores de larvicida	Mosquitos liberam larvicidas em criadouros ocultos	Alcança criadouros inacessíveis; Reduz esforço manual.	Potencial para seleção de resistência; Requer formulações específicas.	Devine et al., 2022; MS Brasil, 2023
Controle Químico Localizado	Dispositivos impregnados com inseticidas	Liberação lenta de inseticidas dentro de ambientes	Alta eficácia em ambientes fechados; Praticidade de uso.	Substituição periódica; Risco de resistência.	Achee et al., 2015; Who, 2022
Controle Genético	Mosquitos transgênicos	Introdução de genes letais ou bloqueadores de transmissão	-Redução da população de vetores; Sem necessidade de inseticidas.	Alta dependência de produção contínua; Necessidade de sexagem eficaz.	Carvalho et al., 2022; Oxitec, 2022
Barreiras Físicas com Agentes Químicos	Roupas impregnadas com inseticida	Proteção pessoal contra picadas de mosquitos	Prolonga proteção individual; Alternativa segura para gestantes.	Contato químico prolongado; Aderência limitada em longo prazo.	CDC, 2022; Who, 2022

Categoria	Forma de Controle	Mecanismo	Principais Vantagens	Principais Desafios	Referência
	Telas impregnadas com inseticida	Barreira física combinada com ação inseticida	Proteção doméstica sustentável; Reduz uso de sprays.	Custo elevado; Necessidade de manutenção constante.	Who, 2023; Ministério da Saúde, 2022
Mobilização Comunitária	Abordagem social	Engajamento comunitário para remoção de criadouros	- Sustentabilidade a longo prazo; Reduz dependência de químicos.	Requer educação e mobilização permanentes; Resultados graduais.	MS Brasil, 2023; OPAS, 2022

Fonte: Autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação de diferentes estratégias de controle vetorial que sejam compatíveis e eficazes, levando em conta as tecnologias disponíveis e as particularidades regionais, mostra-se uma alternativa viável para reduzir a infestação de mosquitos e a incidência das arboviroses por eles transmitidas. Isso se deve ao fato de não existir, no contexto brasileiro, uma solução única e definitiva para o controle do *Aedes aegypti*.

Sob a perspectiva do planejamento estratégico e contínuo, ganham destaque em nível nacional os estudos de revisão da evidência científica e as avaliações econômicas abrangentes, que têm como objetivo identificar ações integradas de controle vetorial viáveis, associadas às inovações tecnológicas, além de valorizar a atuação coordenada entre diferentes setores da sociedade. Essas revisões são fundamentais para orientar e aprimorar as medidas adotadas nos programas já existentes de vigilância em saúde, especialmente diante do cenário recorrente de epidemias de dengue, zika e chikungunya.

REFERÊNCIAS

- ACHEE, N. L. et al. Spatial repellents: from discovery and development to evidence-based validation. *Malaria Journal*, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12936-015-0823-6>.
- ALMEIDA, L. S. et al. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, p. 3857-3868, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30482018>.

- ANGOTTI, A. A. et al. Revisão sistemática rápida: efetividade da estratégia Wolbachia para enfrentamento às arboviroses. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 48, e98, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2024.98>.
- BARROS, F. B. Potencial inseticida das sementes como alternativa ao controle sustentável do *Aedes aegypti* L. (*Diptera: Culicidae*). 2021.
- BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: histórico do controle no Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 16, n. 2, p. 113–118, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742007000200006>.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. *Diretrizes nacionais para a prevenção e controle de epidemias de dengue*. Brasília: Ministério da Saúde, 2009. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_nacionais_prevencao_dengue.pdf.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Monitoramento dos casos de dengue, febre de chikungunya e febre pelo vírus Zika*. Brasília: Ministério da Saúde, 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde; FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Dengue: instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas*. 3. ed. Brasília: Ministério da Saúde; Fundação Nacional de Saúde, 2001. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/dengue_instrucoes_pessoal_combate.pdf.
- BRASIL. Ministério da Saúde; FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. *Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD)*. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.
- CHRISTOPHERS, S. R. *Aedes aegypti* (L.): the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. London: Cambridge University Press, 1960. 750 p.
- CONSOLI, R. A. G. B.; OLIVEIRA, R. L. *Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1994. 228 p.
- FIGUEIRÓ, A. C. et al. Análise da lógica de intervenção do Programa Nacional de Controle da Dengue. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, v. 10, supl. 1, p. S93–S106, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-38292010000500008>.
- FIGUEIREDO, B. K. Caracterização química dos óleos essenciais de *Lavandula angustifolia* e *Lavandula dentata*, ensaios *in vitro* e aplicação em nanoemulsões. 2019.
- GIRARD, M. et al. Arbovírus: uma ameaça global à saúde pública. *Vaccine*, v. 38, p. 3989–3994, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2020.04.082>.

- KRAEMER, M. U. G. et al. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife*, v. 4, e08347, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.7554/eLife.08347>.
- LUZ, T. R. S. A. et al. Essential oils and their chemical constituents against *Aedes aegypti* L. (*Diptera: Culicidae*) larvae. *Acta Tropica*, v. 212, 105705, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105705>.
- MANRIQUE-SAIDE, P. et al. Use of insecticide-treated house screens to reduce infestations of dengue virus vectors, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, v. 21, n. 2, p. 308–311, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3201/eid2102.140533>.
- MARQUES, C. S. Mecanismos moleculares da resistência a inseticidas químicos na população de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) da cidade do Funchal, Ilha da Madeira. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2020.
- NETO, T. S. C. et al. Levantamento de potenciais criadouros de *Aedes aegypti* no Campus do Itaperi da Universidade Estadual do Ceará. *Revista da Medicina Veterinária (UFRPE)*, v. 13, n. 1, p. 43-48, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.26605/rmvuft.v13i1.2951>.
- PEREIRA, A. S. et al. *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria/RS: UAB/NTE/UFSM, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/15824>.
- ROSSI, E. M. et al. Métodos de controle do *Aedes aegypti* e das doenças associadas: conhecimento da população de São Miguel do Oeste – SC. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 6, p. 55087–55099, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n6-084. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-084>.
- SANTOS, A. B. S. et al. Óleos essenciais de *Cinnamomum zeylanicum* Blume e *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng como agentes larvicidas frente às larvas do *Aedes aegypti*. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 22355-22369, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-126>.
- SEREJO, A. P. M. et al. Alternativas genéticas no controle das arboviroses: revisão sistemática. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 5, e4452, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-008>.
- SOUSA, S. S. S. et al. Características clínicas e epidemiológicas das arboviroses epidêmicas no Brasil: Dengue, Chikungunya e Zika. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 23, n. 7, p. e13518, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e13518.2023>.
- SPLETOZER, A. G. et al. Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, v. 31, n. 2, p. 974-997, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509832244>.
- TAJUDEEN, Y. A. et al. Enfrentando a ameaça global à saúde dos arbovírus: uma avaliação das três abordagens holísticas para a saúde. *Health Promotion Perspectives*, v. 11, p. 371–381, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34172/hpp.2021.47>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Chemical methods for the control of vectors and pests of public health importance*. Geneve: WHO, 1997. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63504>.

ZARA, A. L. S. A. et al. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>.

CAPÍTULO XIV

BIOINSUMOS: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL PARA A AGRICULTURA

BIOINPUTS: SUSTAINABLE TECHNOLOGY FOR AGRICULTURE

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-14

Tainara Mendes de Almeida ¹

Patrícia Costa Silva ²

Adriana Rodolfo da Costa ²

Josué Gomes Delmond ³

Andreia Mendes da Costa ⁴

Géssica Mendes da Costa ¹

Cinthya Ferreira de Paula ¹

Walécia Dias de Oliveira Franco ⁵

Vivian Chaves Bernardes ⁶

Gabriela de Assis Santana ¹

¹ Especialista em Gestão Estratégica dos Agronegócios e suas Tecnologias pela Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Santa Helena de Goiás.

² Professora do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Sudoeste.

³ Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Central.

⁴ Doutora em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde.

⁵ Graduada em Zootecnia Universidade Estadual de Maringá.

⁶ Graduada em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás e em Pedagogia pela Faculdade Paulistana.

RESUMO

O modelo técnico de produção de alimentos, sobrepondo elevados ganhos de produtividade, gera crises sociais e ambientais. Atualmente, o Brasil é um dos maiores consumidores de insumos importados dentre eles os fertilizantes e demais agroquímicos, os quais são agressivos e tóxicos ao ambiente e à saúde das pessoas além de apresentarem custos elevados. Neste contexto, a busca por uma agricultura sustentável tem crescido no Brasil e no mundo e, vinculada a isso, surgiu a necessidade de produzir insumos ambientalmente viáveis. Dentre estes, destacam-se os bioinsumos. Estes abarcam uma ampla gama de tecnologias agrícolas, dentre elas os inoculantes, os promotores de crescimento de plantas, os biofertilizantes, os produtos destinados à nutrição animal e vegetal, os extratos vegetais, os produtos feitos a partir de microrganismos benéficos para controlar pragas, parasitas e doenças, assim como produtos fitoterápicos ou tecnologias que contêm ativos biológicos na composição, destinados às plantas e animais, e também aqueles empregados para o

processamento e pós-colheita de produtos agropecuários. Objetiva-se com o presente estudo enfatizar, através de revisão bibliográfica, o uso dos organismos eficientes como bioinsumos capazes de fornecerem nutrientes para as culturas. Destaca-se que os bioinsumos representam o novo, o moderno, instrumentaliza a bioeconomia, dialoga com a sustentabilidade em seu mais alto grau, nas políticas e programas internacionais. Sem dúvida, o biológico é a nova fronteira de expansão para os sistemas produtivos brasileiros.

Palavras-chave: Biofertilizante. Microrganismos Benéficos. Sustentabilidade

ABSTRACT

The technical model of food production, which overrides high productivity gains, generates social and environmental crises. Currently, Brazil is one of the largest consumers of imported inputs, including fertilizers and other agrochemicals, which are aggressive and toxic to the environment and human health, in addition to being costly. In this context,

the search for sustainable agriculture has grown in Brazil and around the world, and, linked to this, the need to produce environmentally sound inputs has emerged. Among these, bioinputs stand out. These encompass a wide range of agricultural technologies, including inoculants, plant growth promoters, biofertilizers, products intended for animal and plant nutrition, plant extracts, products made from beneficial microorganisms to control pests, parasites and diseases, as well as phytotherapeutic products or technologies that contain biological active ingredients in their composition, intended for plants and animals, and also those used for the processing and post-harvest

of agricultural products. The aim of this study is to emphasize, through a literature review, the use of efficient organisms as bioinputs capable of providing nutrients for crops. It is emphasized that bioinputs represent something new and modern, instrumentalizing the bioeconomy, and engaging with sustainability at its highest level in international policies and programs. Without a doubt, biologicals are the new frontier of expansion for Brazilian production systems.

Keywords: Biofertilizer. Beneficial Microorganisms. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O modelo técnico atual de produção de alimentos, sobrepondo elevados ganhos de produtividade, gera crises sociais e ambientais. A agricultura convencional, através do uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos e minerais, tem ocasionado problemas de saúde do trabalhador e consumidor, além da redução na abundância de insetos, plantas nativas e da vida aquática (AZEVEDO, 2018).

O Brasil, com seu agronegócio tropical referência para o mundo, é um dos maiores consumidores de insumos importados dentre eles os fertilizantes e demais agroquímicos, dentre os quais alguns são agressivos e tóxicos ao ambiente e à saúde das pessoas, além de apresentarem custos elevados. A obtenção de elevadas produtividades nas culturas vem exigindo a adoção de práticas de manejo adequadas, conforme as condições edafoclimáticas da região de cultivo, bem como, a adição de fertilizantes minerais no solo, prática esta onerosa e que pode ocasionar desequilíbrio nos ecossistemas naturais (LOUREIRO *et al.*, 2020). De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o total geral de registros de produtos concedidos até dezembro de 2020 chegou a 493, sendo apenas 19% produtos de origem biológica e orgânica (BRASIL, 2020).

Neste contexto, a busca por uma agricultura sustentável tem crescido no Brasil e no mundo e, vinculada a isso, surgiu a necessidade de produzir de insumos ambientalmente viáveis (FARIA e WANDER, 2021). O referido país possui como vantagem competitiva, um grande potencial de conhecer, conservar e desenvolver usos de sua biodiversidade, transformando em ativos biológicos os elementos capazes de se converterem em insumos para os sistemas produtivos. Assim, surgiu os bioinsumos, insumos de origem biológica, que consideram o rico potencial local dessa biodiversidade brasileira (VIDAL *et al.*, 2020).

Segundo o MAPA, (2020), os bioinsumos abarcam uma ampla gama de tecnologias agrícolas, dentre elas os inoculantes, os promotores de crescimento de plantas, os biofertilizantes, os produtos destinados à nutrição animal e vegetal, os extratos vegetais, os produtos feitos a partir de microrganismos benéficos para controlar pragas, parasitas e doenças, assim como produtos fitoterápicos ou tecnologias que contém ativos biológicos na composição, destinados às plantas e animais, e também aqueles empregados para o processamento e pós-colheita de produtos agropecuários.

É notório que em todos os sistemas agropecuários de produção, há disponível uma diversidade de bioinsumos, sejam eles macroorganismos (predadores e polinizadores), microrganismos (bactérias, fungos e vírus), e produtos naturais que podem interagir com os microrganismos do solo, semioquímicos (feromônios), pós de rochas (remineralizadores) etc. (VIDAL *et al.*, 2020).

Nos últimos anos tem sido efetuada uma abordagem estratégica para o manejo integrado de fertilizantes buscando maximizar a fixação, absorção e liberação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) da atmosfera e do solo mediante uso de microrganismos que promovam o crescimento do sistema radicular das plantas e a disponibilização de formas solúveis desses nutrientes. Esses microrganismos promotores de crescimento de plantas são capazes de estimular o crescimento vegetal em diferentes estágios de desenvolvimento por meio de mecanismos diretos como a aquisição de P e K, a fixação de N ou ainda modulando níveis de hormônios vegetais, que podem levar ao aumento da superfície radicular e ao maior crescimento vegetativo (BACKER *et al.*, 2018; NAZIR *et al.*, 2018; BAKHSHANDEH *et al.*, 2020; SOUSA *et al.*, 2021).

Uma das alternativas consideradas sustentável para o setor agrícola objetivando a redução do consumo de fertilizantes e, conseqüentemente, o custo de produção, é o emprego de organismos eficientes como promotores do crescimento de plantas (MARTINS *et al.*, 2025). Sendo assim, torna-se muito importante implantar estratégias alternativas ambientalmente e economicamente sustentáveis e viáveis a fim de aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, como o uso de organismos eficientes (XAVIER, 2022).

Apesar dos benefícios e importância do uso dos bioinsumos na agricultura, sobretudo no que tange ao manejo sustentável dos agrossistemas, verifica-se que ainda existe carência de informações sobre o tema em questão. Neste sentido, objetiva-se com o presente estudo

ênfatizar, através de revisão bibliográfica, o uso dos organismos eficientes como bioinsumos capazes de fornecerem nutrientes para as culturas.

2. O QUE SÃO BIOINSUMOS?

O termo bioinsumo, pela etimologia da palavra, pode ser “insumo de origem biológica”. É fato que não existe um conceito amplamente utilizado na literatura e que abrange a complexidade e todo o escopo que envolve a demanda de uso destes insumos para o sistema produtivo (VIDAL *et al.*, 2020). Já segundo o MAPA, é o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (MAPA, 2020).

A palavra bioinsumo foi inicialmente definida por especialistas nas culturas olerícolas a fim de descrever substâncias que promovam melhorias no crescimento das plantas. Uma das primeiras definições adotadas para descrição do termo considerava que bioestimulantes seriam materiais que, em pequenas quantidades, promoveriam o crescimento da planta. Vale ressaltar que a adoção da expressão pequenas quantidades nesse caso, visava distinguir esses produtos dos fertilizantes e corretivos de solo que também promovem crescimento de plantas, mas são empregados em maiores quantidades (DU JARDIN, 2015).

Já atualmente, entende-se que os bioinsumos/bioestimulantes de plantas compreendem uma classificação diversa de substâncias ou microrganismos que podem ser adicionados ao ambiente em torno da planta, via solo ou foliar, com o objetivo de melhorar a eficiência nutricional e/ou as características de qualidade da cultura e conferir tolerância a estresses bióticos ou abióticos, a despeito de sua composição (VIDAL *et al.*, 2020). Nesse aspecto, os bioinsumos não são considerados nutrientes, porém, facilitam a absorção de nutrientes ou contribuem para a promoção do crescimento e resistência a estresse (VAN OOSTEN *et al.*, 2017).

Os benefícios auferidos através do uso de bioinsumos são decorrentes do aumento na eficiência do uso de nutrientes minerais e em virtude de alterarem diversos processos fisiológicos que contribuem para estimular o desenvolvimento das plantas e reduzir o efeito

dos estresses biótico e abiótico na qualidade e produtividade das culturas (BULGARI *et al.*, 2015).

3. IMPORTÂNCIA DOS BIOINSUMOS

Para Medeiros e Lopes (2006), a necessidade de promover formas alternativas de cultivo ou a implementação de técnicas dentro dos sistemas já existentes, faz-se necessária, a fim de garantir a viabilidade agrícola dentro dos seus diversos aspectos. Na busca por insumos menos agressivos ao ambiente e que permitam o desenvolvimento de um sistema agrícola menos dependente de produtos industrializados, inúmeros produtos têm sido lançados no mercado (MEDEIROS *et al.*, 2007). Frente, ao exposto, o uso de bioinsumos na agricultura vem mostrando bons resultados no que tange aos estresses abióticos.

No início, os bioinsumos eram utilizados principalmente na agricultura orgânica ou de base agroecológica, por serem fundamentais para o manejo desses sistemas. Hoje, eles também desempenham um papel cada vez mais importante na agricultura convencional, como alternativa ou complemento de fertilizantes e produtos fitossanitários e para redução de custos de produção (VIDAL *et al.*, 2020). Provavelmente uma das melhores ilustrações dessa tecnologia e tendência é o desenvolvimento e aplicação em larga escala de inoculantes bacterianos para a fixação biológica de nitrogênio, principalmente para o cultivo da soja, entre os anos 1990 e 2000 (VIDAL *et al.*, 2020).

Essa tecnologia de base biológica, um bioinsumo, gera uma economia da ordem de 15 bilhões de dólares anualmente, segundo estimativas da Embrapa (ARAUJO, 2022). Atualmente, o termo “nova fronteira dos biológicos” ganha destaque para caracterizar o que, no lançamento do Programa Nacional de Bioinsumos, definiu-se como “a terceira onda da agricultura brasileira depois do Plantio Direto e dos sistemas integrados como lavoura-pecuária-floresta” (VIDAL *et al.*, 2020).

Como exemplos de bioinsumos podem ser citados quatro grupos principais de substâncias: os aminoácidos e hidrolisados de proteínas, as substâncias húmicas, os microrganismos e inóculos, e os extratos de algas. Todos os grupos possuem produtos comerciais disponíveis no mercado brasileiro. A indústria tem colocado tais produtos como solução de destaque para a agricultura sustentável pelos possíveis efeitos positivos sobre a fisiologia vegetal (ZANDONANI, 2016).

4. UTILIZAÇÃO DOS BIOINSUMOS NA AGRICULTURA

Segundo Zandonadi (2016), experimentos realizados com bioestimulantes das classes de aminoácidos e microrganismos (Hortbio® e compostos de farelos tipo Bokashi®) têm sido realizados pela Embrapa Hortaliças e parceiros, cujas análises dos ensaios apontam para aumento de produção de alface em cultivo protegido. Dependendo do tipo de bioestimulantes, como os à base de aminoácidos, tem sido observado aumento na produção comercial, concentração de nutrientes foliares, área foliar, índice SPAD, taxa fotossintética e condutância estomática. A utilização de bioestimulantes comerciais na olericultura é uma realidade ainda restrita a um grupo menor de produtores. Parece ser mais comum a utilização de biofertilizantes líquidos, extratos de composto ou vermicomposto e compostos de farelos confeccionados na própria unidade de produção ou adquirido de terceiros. É necessário aumentar os esforços de pesquisa para fornecer informações relativas aos possíveis mecanismos de ação, teor de nutrientes, manejo de aplicação, custo-benefício, entre outras.

Alguns bioinsumos também possuem aptidão direta para controle fitossanitário e consequente promoção da sanidade vegetal. Os principais produtos biológicos ou microbiológicos à disposição do agricultor são inseticidas/acaricidas, fungicidas e nematicidas, tanto microbiológicos (fungos, bactérias, vírus e nematóides) como macrobiológicos (parasitóides e predadores). Para fungicidas e nematicidas o mais comum são produtos microbiológicos (RIVEROS *et al.*, 2021). Uma questão peculiar e que promove o uso desses bioinsumos é que eles são registrados para o alvo a ser controlado, podendo ser utilizados em qualquer cultura que o alvo ocorra, diferente dos agrotóxicos químicos que possuem restrição de culturas, conforme bula do produto. Em exceção, alguns semioquímicos e outros agrotóxicos podem ser recomendado para os alvos biológicos.

Exemplo mundialmente conhecido de microrganismo com evidente ação de biocontrole a fitopatógenos são os fungos do gênero *Trichoderma*, sendo que os primeiros registros foram em 1936, no controle de doenças causadas em citros por *Rhizoctonia solani* (MACHADO *et al.*, 2012). O primeiro produto à base de *Trichoderma* foi disponibilizado em 1987, e desde então os principais produtos registrados são à base de *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum*, *T. koningiopsis* e *T. stromaticum* e sua aplicação ocorre em diversas culturas de importância agrícola (MEYER *et al.*, 2019). Outros exemplos de sucesso com o controle biológico, desta vez no Estado de Santa Catarina, foram obtidos sobre pragas como o

mandarová-da-mandioca (*Erinnis ello*), com o uso do vírus *Baculovirus erinnyis* em mandioca e para o moleque-da-bananeira (*Cosmopolites sordidus*), com o uso do fungo *Beauveria bassiana* em plantio de banana (VISCONTI *et al.*, 2012; 2017).

Medeiros (2000) verificou que o biofertilizante a base de conteúdo de rúmen bovino e composto orgânico Microgeo reduziram a fecundidade, período de oviposição e longevidade de fêmeas do ácaro-da-leprose dos citros (*Brevipalpus phoenicis*) quando pulverizado em diferentes concentrações. O estudo comprovou que o biofertilizante agiu por contato direto e residual e também funcionou de forma sistêmica na planta.

Os bioinsumos à base de microrganismos aplicados na cultura da soja são compostos por fungos, bactérias ou vírus, usados no manejo de insetos-praga ou fitopatógenos. No caso de fungos e bactérias, podem ainda trazer benefícios para as plantas pelo estabelecimento de relações simbióticas. Já os produtos à base de vírus têm sido destinados exclusivamente ao controle de insetos. Os fungos empregados nos bioinsumos podem ser classificados como: 1- entomopatogênicos, a exemplo de *Beauveria bassiana*, *Cordyceps* (Isaria) *javanica*, *Cordyceps* (Isaria) *fumosorosea*, *Cordyceps* (Isaria) *fumosorosea* e *Metarhizium anisopliae*, utilizados no controle de insetos como mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*); 2- micopatogênicos, como *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma asperellum*, aplicados para o controle de doenças fúngicas como a tombamento e morte em reboleira (*Rhizoctonia solani*) e o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*); 3- ou nematicidas como é o caso de *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium* (Paecilomyces) *lilacinus* aplicados para o controle de nematoide de galhas (*Meloidogyne* spp.) e *Pratylenchus brachyurus* (COUTINHO, 2018; LOUREIRO *et al.*, 2020).

Outro importante grupo de bioinsumos são os biofertilizantes, e seu uso seja para a introdução de comunidades microbianas com atividade antagonista a fitopatógenos habitantes do solo, seja para promover o desenvolvimento das plantas, é realidade cada vez mais comum (VISCONTI *et al.*, 2017). Muitos são os exemplos de preparados utilizados como biofertilizantes, especialmente na agricultura orgânica. Desenvolvido pela Embrapa, o Hortbio® é um exemplo de fertilizante orgânico aeróbio utilizado na forma líquida produzido com base em resíduos agroindustriais, carboidratos e micro-organismos do solo (SOUZA *et al.*, 2012) além de promover vários benefícios devido a suas propriedades agronômicas (FONTENELLE *et al.*, 2017).

Dentre os principais grupos de microrganismos utilizados ou testados para a produção de biofertilizantes, merecem destaque aqueles do tipo “multifuncionais”, tanto rizosféricos quanto endofíticos. Segundo Gomes *et al.* (2016), a multifuncionalidade está relacionada à capacidade de produzir enzimas, fitohormônios e substâncias que favorecem o desenvolvimento e proteção das plantas. Microrganismos multifuncionais possuem características de biofertilização, como a fixação de N e solubilização de fosfato pela produção de ácidos orgânicos e de enzimas da classe das fosfatases, entre elas as fitases. É desejável que este grupo inclua também a produção de enzimas hidrolíticas, como celulasas, xilanases, amilases, pectinases, lipases e proteases, sideróforos, fitoestimulantes (fitohormônios) e outras características de biocontrole associadas.

Graças *et al.* (2015) realizaram ampla revisão intitulada “Microrganismos estimulantes na agricultura”, e faz referência aos efeitos dos microrganismos presentes na rizosfera, especialmente as rizobactérias, sobre o desenvolvimento vegetal, bem como o potencial de aplicação das Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCP) nas principais espécies cultivadas, com vários exemplos para cana-de-açúcar, milho, soja e cebola. Alguns dos representantes do grupo de RPCP incluem *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Frankia* e *Thiobacillus*, os quais podem viver associados ou em simbiose com as plantas auxiliando no processo natural de nutrição ou até mesmo como regeneradores do solo (WANI; GOPALAKRISHNAN, 2019).

Dentre os biofertilizantes, para a família das solanáceas, destaca-se aqueles produzidos a base de aminoácidos. Diversos estudos utilizando a aplicação de aminoácidos via foliar ou radicular, convergem com bons resultados para a cultura. Para Alcantara e Porto (2019), a adubação foliar com aminoácidos na cultura do jiló, mostra-se promissora, uma vez que interage com a nutrição da planta, aumenta a eficiência de absorção, transporte e assimilação de nutrientes.

Gazola *et al.*, (2014) preconizaram que a adubação foliar é de complemento da adubação aplicada via solo, em relação ao fornecimento de nitrogênio, fósforo e potássio das culturas. Sendo assim, a disponibilização de N via adubação foliar com aminoácidos pode suplementar o fornecimento via solo em estágios específicos do crescimento. Dessa forma, os aminoácidos são incorporados ao metabolismo como se tivessem sido sintetizados pela planta, colaborando para o processo de crescimento e desenvolvimento da mesma.

De maneira geral, os aminoácidos atuam como estimuladores do metabolismo, onde são incorporados nas vias metabólicas, estimulando a síntese de proteínas e consequentemente melhorando o transporte e armazenamento de nitrogênio. Consequentemente, agem como precursores não só de aminoácidos proteicos, como também de compostos nitrogenados essenciais, como os ácidos nucleicos, as poliaminas e a clorofila (SOUZA e PERES, 2016).

A principal recomendação dos bioinsumos está relacionada à sua ação como condicionante e redutor dos efeitos fitotóxicos ocasionados pela utilização de defensivos químicos. Ocasionalmente a redução de taxas de perdas elevadas, assim como, proporciona a recuperação das plantas (SOUZA, 2017).

No que tange a absorção de água, bem como sua resistência ao estresse hídrico, Vasconcelos *et al.*, (2009) descreveram alguns resultados da aplicação de biofertilizantes na cultura da soja, na qual há um incremento da retenção de água nas folhas e do metabolismo antioxidante quando a planta é submetida ao déficit hídrico. Vasconcelos *et al.*, (2006) esclareceu que tal fato, ocorre quando as plantas estão sob estresse, e os radicais livres ou espécies reativas de oxigênio danificam as células das plantas. Os antioxidantes suprimem a toxicidade dos radicais livres, permitindo maior desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os bioinsumos são uma realidade no país. O Brasil sem dúvida será a maior referência mundial no setor, especialmente por conter uma inestimável e potencial biodiversidade e geodiversidade. Há tecnologia, conhecimento, redes e muitos desafios produtivos que podem estimular o desenvolvimento de alternativas a partir dos bioinsumos, sempre e desde que, as iniciativas públicas apoiem esses processos.

Fica claro que há muitos desafios regulatórios para os bioinsumos, como por exemplo sua multifuncionalidade e formas de produção - dentro e fora da propriedade. Outra questão muito relevante relaciona-se à formação de competência profissional para o setor. Se há intenção de impactar fortemente no tema dos bioinsumos, é fundamental investir em formação, capacitação, extensão rural e boas práticas. Só em uma ação coordenada com os diferentes agentes da rede de produção será possível obter resultados robustos e estruturais que garantam a continuidade das ações.

Os bioinsumos representam o novo, o moderno, instrumentaliza a bioeconomia, dialoga com a sustentabilidade em seu mais alto grau, nas políticas e programas internacionais. Sem dúvida, o biológico é a nova fronteira de expansão para os sistemas produtivos brasileiros. Há um potencial quase infinito em relação aos microrganismos para uso como agentes biológicos de controle. A sanidade das plantas tem nos bioinsumos uma outra possibilidade de inovar e trazer soluções eficientes e com baixo custo ambiental e à saúde humana, eliminando externalidades negativas e promovendo o Brasil a maior produtor e consumidor de bioinsumos do mundo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PrP/UEG pelo fomento Pró-Projetos – Plataforma Institucional de Pesquisa e Inovação em Bioinsumos nº 23/2023, termo de fomento nº 65/2023 processo SEI nº 202200020023122.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, H.P.; PORTO, F.G.M. Influência de fertilizante foliar com aminoácidos na cultura do jiló. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.6, p.5554-5563, 2019.
- ARAÚJO, R.M. **Análise da conjuntura atual, desafios e oportunidades do uso do controle biológico no manejo de resistência de pragas às plantas geneticamente modificadas de algodão, milho e soja com tecnologia BT no Brasil**. 2022. Tese de Doutorado.
- AZEVEDO, E. **Alimentos orgânicos: Ampliando conceitos de saúde humana, ambiental e social**. São Paulo: SENAC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 61 de julho de 2020. Regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal, vegetal, constante do Anexo I à presente Instrução Normativa**. Diário Oficial da União. n. 194, Seção 1. p. 4-11. 7 out. 2011.
- BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D. L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, article 1473, 2018.
- BAKHSCHANDEH, E.; GHOLAMHOSSEINI, M.; YAGHOUBIAN, Y.; PIRDASHTI, H. Plant growth promoting microorganisms can improve germination, seedling growth and potassium uptake of soybean under drought and salt stress. **Plant Growth Regulation**, v. 90, p. 123-136, 2020.

- BULGARI, R.; COCETTA, G.; TRIVELLINI, A.; VERNIERE, P.; FERRANTE, A. Biostimulants and crop responses: a review. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 31, p. 1-17, 2015.
- COUTINHO, R. R. *Pochonia chlamydosporia: controle de Meloidogyne javanica em soja, associação com culturas de cobertura e interação com bactérias fixadoras de nitrogênio e com o pH do solo*. 2018. 91 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.
- FARIA, R. D. S.; WANDER, A. E. Bioeconomia e agronegócio brasileiro - perspectivas e desafios do Programa Nacional de Bioinsumos. In: GIACOBBO, D. G.; FROTA, L. M. (ORG.) Agro: O Papel do Agronegócio Brasileiro nas Novas Relações Econômicas Mundiais. Rio de Janeiro: **Synergia**, v. 1, Cap. 10, p. 164-177. 2021.
- FONTENELLE, M. R.; LIMA, C.E.P.; BONFIM, C.A.; ZANDONADI, D.B.; BRAGA, M.B.; PILN, L.; RESENDE, F. **Biofertilizante Hortbio®: propriedades agronômicas e instruções para o uso**. Embrapa Hortaliças: Brasília. Circular Técnica 162, 11p. 2017.
- GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; FONSECA, I. C. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 7, p. 700-707, 2014.
- GOMES, E. A.; SILVA, U. C.; PAIVA, C. A. O.; LANA, U.G.P.; MARR IEL, I. E.; SANTOS, V. L. **Microrganismos promotores do crescimento de plantas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; 2016. (Documentos 208).
- GRAÇAS, J. P.; RIBEIRO, C.; COELHO, F. A. A.; CARVALHO, M. E. A. V.; CASTRO, P. R. C. **Microrganismos estimulantes na agricultura**. Piracicaba: ESALQ. 56 p. 2015.
- LOUREIRO, E. de S.; DIAS NETO, J. A.; PESSOA, L. G. A.; ADÃO, D. V.; DIAS, P. M.; PEREIRA FILHO, A. A.; MATEUS, J. A. de F. Management of *Pratylenchus brachyurus* with *Trichoderma harzianum* and *Purpureocillium lilacinum* in soybean. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e124973828, 2020.
- MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F.R.; DA SILVA, A.C.F.; ANTONIOLLI, Z.I. Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n.1, p.274-288, 2012.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lançamento do Programa Nacional de Bioinsumos**. Youtube, 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=G9qqadFlePc>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.
- MARTINS, A. A. S.; SILVA, P. C.; BARBOSA, K. F.; DELMOND, J. G.; FERREIRA, A. F. A.; ARAÚJO, E. S.; BRASIL, E. P. F.; COSTA, A. R. Rocket production using organo-mineral fertilizers

- as a phosphorus source and plant growth-promoting bacteria. **Food Science and Technology**, v. 45, e00469, 2025.
- MEDEIROS, M.B.; LOPES, J.S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, p.24-26, 2006.
- MEDEIROS, M. B. Effect of liquid biofertilizer on the oviposition of *Brevipalpus phoenicis*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF UNDERGRADUATE RESEARCH, 9., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo. 2000.
- MEDEIROS, D.C.; LIMA, B.A.B.; BARBOSA, M.R.; ANJOS, R.S.B.; BORGES, R.D.; NETO, J.G.C.; MARQUES, L.F. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 433-436, jul-set, 2007.
- MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; DA SILVA, J. C. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 538 p. 2019.
- NAZIR, N.; KAMILI, A. N.; SHAH, D. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth: a review. **International Journal of Management, Technology and Engineering**, v. 8, p. 709-721, 2018.
- RIVEROS, J. L. T.; JUNQUEIRA, A. M. R.; SOARES, J. P. G.; SAMPAIO, E. Insumos para a produção orgânica: um estudo entre Paranoá, Distrito Federal, Brasil e Granda, Meta, Colômbia. **Nature and Conservation**, v.14, v.4, p.1-17, 2021.
- SOUSA, M. A. C. **Uso de um bioestimulante a base de aminoácidos na redução dos efeitos fito tóxicos de herbicidas e sua influência no desenvolvimento de *Bemisia tabaci***. Monografia (Agronomia). Universidade de Brasília, Brasília. 44p. 2017.
- SOUZA, L.R.; PERES, F.S.B. Uso de biofertilizantes à base de aminoácidos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 211-218, 2016.
- SOUSA, S. M.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G.P.; GOMES, E. A. Tropical Bacillus strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutriente uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, 2021.
- SOUZA, R. B. de; RESENDE, F. V.; LUDKE, I.; COUTO, J. R. do. **Aprenda como faz**. Hortbio®. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2012.
- VAN OOSTEN, M. J.; PEPE, O. PASCALE, S.; SILLETI, S.; MAGGIO, A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 5, 2017.

- VASCONCELOS, A.; ZHANG, X.; ERVIN, E. Y.; KIEHL, J. Enzymatic antioxidant responses to bioestimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agricola**, v. 66, n.3, p 395-402. 2006.
- VIDAL, M. C., AMARAL, D. F. S., NOGUEIRA, J. D., MAZZARO, M. A. T., LIRA, V. M. C. Bioinsumos: a Construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **EALR**, v. 12, n.3, p.557-574, 2020.
- VISCONTI, A.; MÜLLER, J. J. V.; SILVA JÚNIOR, A. A.; ZAMBONIM, F. M. Microrganismos da Floresta Atlântica – potencial desconhecido. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, n. 3, 2012.
- VISCONTI, A.; ZAMBONIM, F. M.; MARIGUELE, K. H.; LONE, A. B. Métodos alternativos para o controle de fitopatógenos habitantes do solo: Parte II – controle biológico. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 30, n. 3, p. 33-36, 2017.
- XAVIER, V. L. **Programa nacional de bioinsumos: proposição de um sistema de monitoramento de biofábricas**. 87 f. 2022. Dissertação (Mestrado - Programa de Mestrado em Avaliação e Monitoramento de Políticas Públicas) – Escola Nacional de Administração Pública, 2022.
- WANI, S.; GOPALAKRISHNAN, S. Plant growth-promoting microbes for sustainable agriculture. In: Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): prospects for sustainable agriculture. **Springer, Singapore**, p. 449–471, 2019.
- ZANDONADI, D. B. Bioestimulantes e produção de hortaliças. **Embrapa Hortaliças** – Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), Brasília, DF, Ano 5, n. 19, p. 14-15, 2016.

CAPÍTULO XV

DIVERSIDADE DE BANANAS NO CULTIVO FAMILIAR

BANANA DIVERSITY IN FAMILY FARMING

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-15

Rosiane da Silva ¹

Jonathan Mateus de Moraes ¹

Isane Vera Karsburg ²

Silvan Gomes de Brito ²

¹ Graduando (a) do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso— UNEMAT

² Professor (a) da Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias. Universidade do Estado de Mato Grosso— UNEMAT

RESUMO

Neste trabalho foi realizado o levantamento da diversidade de bananas cultivadas e consumidas em pequena escala em duas propriedades rurais localizadas nos municípios de Alta Floresta e Paranaíta, no estado de Mato Grosso. A pesquisa teve como objetivo identificar as principais variedades de banana cultivadas, suas características agrônômicas, formas de consumo e a relevância econômica e social dessa prática para a agricultura familiar. A metodologia envolveu observações de campo, registros fotográficos e levantamento bibliográfico. As variedades identificadas incluem Prata, Maçã, Nanica, Terra e Roxa, cada uma com usos culinários e características específicas. Os resultados mostram que, apesar das diferenças nos métodos de cultivo entre as propriedades, as cultivares apresentaram poucas variações, sugerindo que o manejo não impactou nas características dos frutos. Observou-se, ainda, que o cultivo da banana desempenha papel importante na geração de renda e na segurança alimentar local, reforçando a necessidade de políticas públicas que valorizem o pequeno produtor e incentivem práticas sustentáveis no meio rural.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Cultivares. Pequena escala. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study surveyed the diversity of bananas grown and consumed on a small scale on two rural properties located in the municipalities of Alta Floresta and Paranaíta, in the state of Mato Grosso. The research aimed to identify the main banana varieties cultivated, their agronomic characteristics, consumption patterns, and the economic and social relevance of this practice for family farming. The methodology involved field observations, photographic records, and a bibliographical survey. The varieties identified include Prata, Maçã, Nanica, Terra, and Roxa, each with specific culinary uses and characteristics. The results show that, despite differences in cultivation methods between the properties, the cultivars showed little variation, suggesting that management did not impact the characteristics of the fruit. It was also observed that banana cultivation plays an important role in income generation and local food security, reinforcing the need for public policies that value small producers and encourage sustainable practices in rural areas.

Keywords: family farming, cultivars, small-scale agriculture, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A *Musa spp.*, conhecida popularmente como banana, é originária da Ásia e Pacífico há cerca de 10 mil anos. Expandiu-se gradualmente para diversas regiões, sendo posteriormente

introduzida no Oriente Médio, África e Ilhas Canárias, até ser trazida para as Américas pelos espanhóis. Esse trajeto histórico consolidou-a como uma fruta amplamente consumida, especialmente em regiões de clima tropical e úmido, dada sua adaptabilidade e valor nutricional. Além do consumo direto, a banana destaca-se pela produção de diversos subprodutos, como balas, doces, sucos, passas, farinha, chips, fruta em calda, cristalizada, vinho, vinagre, cachaça e licor (NOGUEIRA, 2013).

No Brasil, a bananeira está presente em todas as regiões, sendo comercializada principalmente no mercado interno. Morfologicamente, a planta é monocotiledônea, herbácea, com caule subterrâneo (rizoma) e sistema radicular fasciculado. Seu cultivo depende de diversos fatores, como características genéticas, solo, clima, agentes bióticos e ações humanas (BORGES, 2024).

Nos últimos anos, o melhoramento genético, como o promovido pela Embrapa (PMG), tem gerado variedades mais resistentes e com características desejáveis. Variedades como Prata, Prata Anã, Pacovan, FHIA-18, Nanica, Nanicão, Cavendish e Terra se destacam por sua produtividade, sabor e resistência.

Historicamente, a cultura da banana começou com os povos indígenas e se expandiu comercialmente no século XX com apoio de órgãos governamentais, ganhando importância econômica e social (LICHTENBERG, 2011).

A agricultura familiar desempenha papel relevante na sustentabilidade da cultura da banana, mesmo com menor expressão no agronegócio em larga escala. Ainda assim, ela constitui uma fonte de renda valiosa para os agricultores familiares, que cultivam em pequena escala e muitas vezes distribuem seus produtos por meio de cooperativas locais. Com essa perspectiva, o presente trabalho aborda o cultivo de bananas em pequena escala, com foco no consumo próprio e eventuais vendas destinadas aos moradores locais. O levantamento foi realizado em duas propriedades rurais situadas em municípios próximos, Alta Floresta e Paranaíta.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar o cultivo de bananas em pequena escala em duas propriedades rurais localizadas no estado de Mato Grosso. Busca-se identificar as principais variedades cultivadas, destacando suas características agrônômicas e formas de

consumo, bem como compreender a importância desse cultivo para a agricultura familiar local.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nas propriedades Chácara São Mateus e Sítio Cristo Redentor, localizadas, respectivamente, nos municípios de Alta Floresta e Paranaíta, no estado de Mato Grosso. A metodologia envolveu observações em campo nas plantações de bananeiras, acompanhadas de registros fotográficos das plantas com cachos de bananas e uma pré-identificação das cultivares encontradas. Também foram anotadas breves descrições sobre o ambiente, o clima e o manejo agrícola adotado em cada propriedade. Na etapa teórica, foi realizado um levantamento bibliográfico para embasar a contextualização histórica e agronômica da cultura da banana.

A análise comparativa baseou-se nas informações obtidas em campo e no que a literatura especializada aponta como característico para o cultivo de bananeiras em ambas as localidades, considerando aspectos como solo, clima, formas e cuidados no plantio.

De acordo com Dantas et al., (2004), os municípios de Alta Floresta e Paranaíta apresentam clima quente, com temperaturas médias entre 24 °C e 30 °C, e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os solos são férteis, bem drenados e com pH variando entre 5,5 e 6,5, condições ideais para o cultivo de bananeiras.

Quanto às formas e cuidados com o plantio, o espaçamento entre as plantas deve respeitar o porte da cultivar. Para cultivares de porte baixo a médio, como Nanica e Nanicão, recomenda-se espaçamento de 2,0 m x 2,0 m ou 2,0 m x 2,5 m. Já para cultivares de porte alto, como Prata e Terra, o indicado é 2,5 m x 3,0 m ou 3,0 m x 3,0 m. O plantio pode ser realizado ao longo de todo o ano em áreas irrigadas; em regiões de sequeiro, o período ideal é entre novembro e janeiro. Os cuidados essenciais incluem calagem para correção da acidez do solo, adubação com base em análises laboratoriais (especialmente quanto ao fornecimento de nitrogênio, fósforo e potássio), irrigação suplementar em períodos secos e manejo integrado de pragas e doenças (INFOTECA EMBRAPA, 2023).

Na propriedade Chácara São Mateus, observou-se o uso de espaçamento mais amplo, com cerca de 10 metros entre as mudas. Essa prática visa facilitar o manejo e proporcionar maior liberdade de crescimento às plantas. Já no Sítio Cristo Redentor, o espaçamento e a profundidade das covas não seguem um padrão definido, sendo realizados de forma intuitiva,

o que, segundo os produtores, não compromete a produtividade, já que as plantas não ficam aglomeradas.

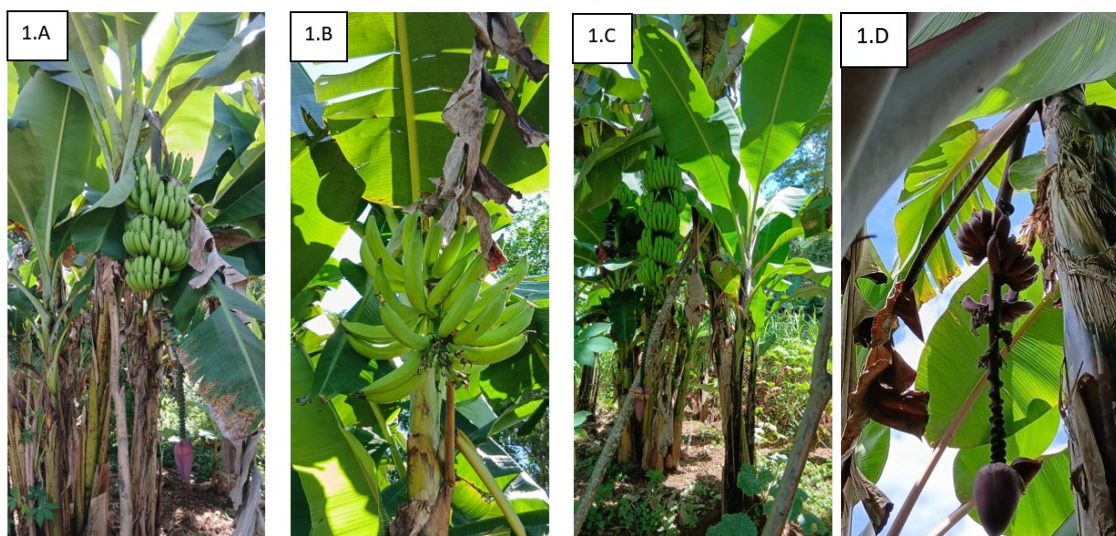
Em ambas as propriedades, a produtividade é considerada satisfatória, fato atribuído à fertilidade natural do solo e à aplicação frequente de adubação orgânica. Além disso, os produtores complementam, ocasionalmente, com adubos comerciais. Entre os cuidados realizados, destacam-se o monitoramento de pragas e doenças e o replantio periódico, necessário devido ao ciclo monocárpico das bananeiras, que morrem após a frutificação principal.

A escolha do espaçamento e das variedades cultivadas é feita conforme o espaço disponível e as preferências dos moradores locais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Cultivares Identificadas no Sítio Cristo Redentor (Paranaíta):

Figura 2.A: Banana Nanica. 1.B: Banana da terra. 1.C: Banana Nanicão. 1.D: Banana São Domingos (roxa).



Cultivares Identificadas na Chácara São Mateus (Alta Floresta):

Figura 3: 2.A: Banana Nanica. 2.B: Banana Prata. 2.C: Banana da Maçã. 2.C: Banana da Terra.



Por meio da observação das fotografias e do ambiente em ambas as propriedades (Figuras 1.A, B, C e D; 2.A, B, C e D), foi possível constatar que as cultivares e os frutos apresentam poucas diferenças entre si. Esse resultado sugere que, neste caso, as variações

nas práticas de cultivo e manejo adotadas não impactaram significativamente as características das variedades analisadas.

4.1. HISTÓRICO DAS VARIEDADES CULTIVADAS E FORMAS DE CONSUMO

A **banana Prata** é uma das variedades mais populares no Brasil. Com sabor doce e casca fina, é amplamente consumida *in natura*, sendo também bastante utilizada no preparo de sobremesas, como banana caramelizada e compotas. Seu sabor suave a torna ideal tanto para receitas doces quanto pratos quentes (MOREIRA, 1999; TIBÚRCIO, 2005; BARBOSA et al., 2011).

A **banana Maçã** destaca-se pelo aroma e sabor semelhantes ao da maçã, com polpa doce e firme. É bastante apreciada *in natura* e em receitas doces, como tortas, bolos, pudins, assados e frituras. Sua consistência favorece o uso em preparações que exigem maior firmeza da fruta (SILVA et al., 2003; LOPES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2013).

A **banana Nanica**, pertencente ao subgrupo Cavendish, é a variedade dominante no mercado brasileiro. Apresenta polpa doce e cremosa, além de boa resistência ao transporte. É consumida principalmente *in natura*, mas também é muito utilizada em vitaminas, sucos e sobremesas como bolos e pudins (EMBRAPA, 1997; MATSUURA et al., 2011; ALVES et al., 2016).

A **banana da Terra** possui textura firme e sabor menos doce, sendo preferida em pratos salgados. É tradicionalmente utilizada em receitas como moquecas, feijoadas, frituras e acompanhamentos de carnes. Essa variedade tem grande importância na culinária popular e na agricultura familiar (DANTAS; DANTAS; RAMOS, 2004; COSTA et al., 2009; PEREIRA et al., 2014).

A **banana Roxa**, também conhecida como variedade ‘São Domingos’, pertence ao grupo triploide AAA e apresenta coloração exótica e alto valor nutricional. De origem asiática e introduzida no Brasil por rotas coloniais, é cultivada em pequena escala, especialmente no Nordeste. Rica em amido e sais minerais, sua valorização recente está associada à busca por alimentos mais saudáveis. Pode ser consumida *in natura* ou utilizada no preparo de farinhas e receitas funcionais (OLIVEIRA et al., 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de bananas em pequenas propriedades como a Chácara São Mateus e o Sítio Cristo Redentor evidencia a importância da agricultura familiar para a manutenção e diversidade dessa cultura. As variedades cultivadas atendem tanto ao consumo próprio quanto à venda local, contribuindo para a segurança alimentar e a geração de renda. A escolha das variedades e as práticas adotadas demonstram adaptação às condições ambientais e valorização dos saberes locais. O fortalecimento da cultura da banana passa, portanto, pela valorização de políticas públicas que incentivem o pequeno produtor e promovam a sustentabilidade e diversidade de formas do meio rural.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E. J. *A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais*. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1999. 585 p.
- ALVES, E. L.; OLIVEIRA, M. A. S.; SANTOS, P. S. A banana nanica: características e mercado. *Revista Brasileira de Agricultura Tropical*, v. 42, n. 3, p. 215-220, 2016.
- BARBOSA, L. F.; LOPES, F. L.; GOMES, M. F. *Produção e manejo da banana no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2011.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; LUCIANO, D. S. S. *O cultivo da bananeira*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.
- COSTA, E. C.; LIMA, J. A.; SANTOS, A. M. *Banana da terra e sua importância na culinária brasileira*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2009.
- DANTAS, A. C. V. L.; DANTAS, J. L. L.; RAMOS, D. R. S. *Cultivo da banana*. 2. ed. Brasília, DF: SENAR, 2004. 99 p.
- DONATO, S. L. R. et al. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, n. 1, p. 139-144, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. *O cultivo da banana*. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1997. 109 p. (Circular Técnica, 27).
- INFOTECA EMBRAPA. Informações técnicas para o cultivo da bananeira. 2023. Disponível em : <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127319/1/LV-RecomendacaoSolo-2020-333-336.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- LICHTENBERG, L. A. Colheita e pós-colheita de banana. *Informe Agropecuário*, v. 20, n. 196, p. 73-90, 1990.

- LICHTENBERG, L. A.; LICHTENBERG, P. S. F. Avanços na bananicultura brasileira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, p. 29-36, 2011.
- LOPES, J. F.; SILVA, J. R.; PEREIRA, L. A. A banana maçã e suas propriedades culinárias. *Revista de Fruticultura Brasileira*, v. 14, n. 2, p. 85-89, 2007.
- MATSUURA, H. S.; ALMEIDA, A. C.; SOUZA, T. P. Variedades de banana e suas diferenças morfológicas e fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 6, p. 741-749, 2011.
- MOREIRA, R. M. *Banana: teoria e prática de cultivo*. 2. ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. CD-ROM.
- NOGUEIRA, S. R. et al. *Bananicultura acriana: situação atual e desafios*. 2013.
- OLIVEIRA, H. T. et al. Minerais e amido resistente em farinhas de banana vermelha ‘São Domingos’ triploide (AAA). *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 4, p. e1810413860, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13860. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13860>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- OLIVEIRA, M. P.; CUNHA, R. M.; SANTOS, A. D. Cultivo de banana maçã e seus benefícios ao mercado regional. *Revista Brasileira de Agricultura e Recursos Naturais*, v. 38, n. 4, p. 263-270, 2013.
- PEREIRA, A. G.; RIBEIRO, A. L.; PIMENTA, L. S. *Banana da terra: usos e cultivo no Brasil*. Salvador: Editora UFBA, 2014.
- SILVA, S. O. et al. *Circular Técnica 68: Nova cultivar de banana tipo Maçã tolerante ao Mal-do-Panamá*. Cruz das Almas: Embrapa, 2003.

CAPÍTULO XVI

DIVERSIDADE DE ABÓBORAS NA FEIRA LIVRE DE ALTA FLORESTA - MT

THE DIVERSITY OF PUMPKINS AT THE FARMERS' MARKET IN ALTA FLORESTA - MT

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-16

H. F. Viana¹
P. S. N. Parpinelli²

¹ Graduando do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

² Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

RESUMO

Este trabalho analisa a importância das abóboras na agricultura familiar, destacando sua versatilidade e valor nutricional. As abóboras, como cabotiá, moranga, paulistinha, manteiga e goianinha, são cultivadas principalmente em pequenas propriedades rurais e possuem múltiplas aplicações na alimentação humana e animal. Além de serem ricas em vitaminas, fibras e minerais, essas hortaliças sustentam tradições culinárias e geram renda local. A Feira Livre Odílio Oliveira de Paula, em Alta Floresta-MT, é um marco cultural e socioeconômico que reflete a diversidade produtiva da região. A pesquisa também aborda a agrobiodiversidade e os desafios contemporâneos enfrentados pela agricultura familiar, enfatizando a necessidade de preservação das variedades locais.

Palavras-chave: Abóboras. Agricultura familiar. Feira Livre. Agrobiodiversidade.

ABSTRACT

This work analyzes the importance of pumpkins in family farming, highlighting their versatility and nutritional value. Pumpkins, such as cabotiá, moranga, paulistinha, manteiga, and goianinha, are primarily cultivated on small rural properties and have multiple applications in human and animal food. In addition to being rich in vitamins, fibers, and minerals, these vegetables sustain culinary traditions and generate local income. The Odílio Oliveira de Paula Free Fair in Alta Floresta-MT is a cultural and socioeconomic landmark that reflects the region's productive diversity. The research also addresses agrobiodiversity and the contemporary challenges faced by family farming, emphasizing the need to preserve local varieties.

Keywords: Pumpkins. family farming. Free Fair. Agrobiodiversity.

1. INTRODUÇÃO

As abóboras estão entre as principais hortaliças cultivadas em pequenas propriedades rurais do Brasil. Seu uso é versátil: vão desde a alimentação humana, passando pela forragem animal até a ornamentação. Além disso, destacam-se por sua facilidade de armazenamento e longa durabilidade pós-colheita, o que reforça sua importância na agricultura familiar. Originária das Américas, a abóbora teve papel central na alimentação das antigas civilizações Asteca, Inca e Maia, sendo atualmente amplamente difundida no território brasileiro.

Pertencentes à família Cucurbitaceae, que inclui ainda o melão, a melancia, o pepino e o chuchu, as abóboras fazem parte do gênero *Cucurbita*, nativo das Américas (WHITAKER; ROBINSON, 1986). Entre as espécies cultivadas destacam-se a *Cucurbita moschata* (abóbora) e a *Cucurbita maxima* (moranga), também conhecidas por diversos nomes populares como jerimum, jerimum de leite, jerimum jandaia, entre outros. A família Cucurbitaceae abrange cerca de 118 gêneros e mais de 800 espécies, das quais 30 são cultivadas (ESQUINAS-ALCAZAR et al., 1983; NUEZ et al., 2000).

As abóboras são ricas em vitamina A, fibras e minerais como manganês e potássio. Além de serem alimentos de baixa caloria e fácil digestão, estudos apontam para uma ampla variabilidade genética nas variedades locais brasileiras, o que reforça seu valor cultural e agrônômico (RAMOS, 1996).

A biodiversidade agrícola engloba não apenas a variedade de espécies cultivadas, mas também os saberes, práticas e significados culturais atribuídos aos alimentos. Nesse sentido, as feiras livres surgem como espaços privilegiados para a valorização de saberes tradicionais, da culinária regional e da identidade local.

O município de Alta Floresta, ao norte do estado de Mato Grosso, é marcado por uma forte presença da agricultura familiar, e sua feira livre é um reflexo direto dessa diversidade produtiva. A Feira Livre Odílio Oliveira de Paula, inaugurada em 1984, está situada no coração da cidade, com acesso principal pela Avenida Ariosto da Riva, com 172 boxes distribuídos em dois pavilhões, o espaço é dedicado à comercialização de alimentos frescos, artesanato, produtos naturais e itens da produção familiar local, promovendo a economia circular e fortalecendo a segurança alimentar.

Administrada pela APRUSFAF (Associação dos Produtores Rurais Urbanos, Suburbanos e Feirantes de Alta Floresta), a feira ocorre principalmente aos domingos, atraindo visitantes de toda a região. Em 2025, recebeu investimentos de R\$ 839 mil, por meio de emenda parlamentar (Contrato nº 028/2025), para modernização da fachada e urbanização do entorno. Apesar de entraves contratuais que paralisaram temporariamente a obra, a revitalização reflete a tentativa de conciliar tradição com inovação, estimulando o turismo e fortalecendo a identidade local.

Durante uma visita técnica realizada em um domingo, foi possível observar uma significativa diversidade de abóboras do gênero *Cucurbita* em diferentes bancas. Entre as variedades identificadas estavam:

- Abóbora moranga (*Cucurbita maxima*), também chamada de jerimum,
- Abóbora cabotiá, ou japonesa,
- Abóbora paulistinha, conhecida como mini paulista ou mini cabotiá,
- Abóbora manteiga, ou butternut.

Todas essas variedades pertencem ao grupo das angiospermas, plantas com flores e frutos, e refletem o saber popular associado ao cultivo e à seleção de variedades adaptadas ao clima e solo locais.

Figura 1 – Diversidade de abóboras na feira livre de Alta Floresta -MT



Fonte: Autoria própria.

2. A ABÓBORA CABOTIÁ

Figura 4 Abóbora Cabotiá



Fonte: Autoria própria.

Entre as variedades de abóbora encontradas na feira livre de Alta Floresta, no Mato Grosso, a abóbora cabotiá destaca-se não apenas por seu sabor marcante, mas também por sua história híbrida e versatilidade culinária. Conhecida popularmente como abóbora

japonesa, a cabotiá é resultado do cruzamento entre duas espécies distintas: a *Cucurbita maxima* (moranga) e a *Cucurbita moschata*. Apesar do nome que remete ao Japão — onde é chamada de *kabocha* — sua origem remonta ao continente americano, onde já fazia parte da alimentação dos povos originários como os astecas, incas e maias.

A cabotiá apresenta uma textura densa e macia, que lembra uma mistura entre abóbora tradicional e batata-doce, acompanhada de um sabor naturalmente doce que conquista o paladar em diversas preparações. Sua polpa de cor alaranjada intensa é um indicativo da riqueza em beta-caroteno, substância precursora da vitamina A. Além disso, a abóbora cabotiá é rica em potássio, ferro, fósforo, fibras, proteínas, magnésio e gorduras insaturadas. O consumo regular dessa variedade pode contribuir para o fortalecimento do sistema imunológico, ajudar na prevenção de doenças crônicas e combater os efeitos prejudiciais dos radicais livres no organismo.

As sementes, frequentemente descartadas, merecem atenção especial: são comestíveis e altamente nutritivas. Quando torradas ou salteadas, tornam-se um excelente lanche ou complemento para saladas e sopas, por serem fontes naturais de antioxidantes, vitamina A e compostos que auxiliam na saúde da pele e na prevenção de infecções.

No que diz respeito ao cultivo, a cabotiá demanda solos quentes e férteis, com pH ideal entre 6,0 e 6,8. Em regiões de clima quente, pode ser cultivada durante todo o ano, enquanto em locais com invernos mais suaves, o plantio se estende do mês de agosto até março. Essa adaptabilidade contribui para sua ampla disponibilidade nas feiras e mercados do país.

Na cozinha, a cabotiá se revela uma aliada versátil e nutritiva. Pode ser cozida, assada, refogada, utilizada como base de sopas e cremes ou até mesmo como recheio. Entre as preparações mais comuns encontradas nas casas e barracas da feira livre de Alta Floresta, destacam-se a abóbora cabotiá refogada no alho e cebola, a versão assada com ervas aromáticas, a sopa cremosa com toque de gengibre, e a sofisticada cabotiá recheada com carne de sol. Outra iguaria local é a abóbora caramelizada, que combina a doçura natural do legume com especiarias que remetem à culinária tradicional mato-grossense.

Essa diversidade de formas de preparo reforça a importância cultural e nutricional da cabotiá, uma abóbora que ultrapassa fronteiras, une tradições e fortalece os vínculos entre a agricultura familiar e a alimentação saudável.

3. ABÓBORA MORANGA

Figura 5 Abóbora moranga



Fonte: Autoria própria.

Outra presença marcante nas bancas da feira livre de Alta Floresta é a moranga, uma variedade de abóbora amplamente reconhecida por sua forma achatada e redonda, com gomos bem salientes que a diferenciam visualmente das demais. Também conhecida como jerimum, moganga, bugango ou mogango — dependendo da região do Brasil —, essa abóbora possui origem africana, especialmente da região da Guiné, de onde se espalhou para o território brasileiro e ganhou adaptações e novos usos ao longo do tempo.

Uma das características morfológicas mais notáveis da moranga é seu pedúnculo liso e sem sulcos, contrastando com o pedúnculo da abóbora comum, que é sulcado e se alarga na base de inserção no fruto. Esses detalhes facilitam sua identificação nas feiras e roças, além de reforçarem sua singularidade no conjunto das cucurbitáceas cultivadas no país.

No que diz respeito aos aspectos nutricionais, a moranga é rica em vitamina A — essencial para a saúde dos olhos e da pele —, além de conter vitaminas do complexo B, cálcio e ferro. É também um alimento funcional, com propriedades que auxiliam a digestão, além de atuar como diurético e laxativo natural. Esses atributos tornam seu consumo frequente não apenas uma questão de sabor e tradição, mas também de cuidado com a saúde e o bem-estar.

Versátil por excelência, a moranga é usada tanto em preparações salgadas quanto doces. Sua polpa macia e levemente adocicada combina bem com refogados, sopas, saladas e purês. Entre as receitas mais tradicionais que valorizam essa variedade, destaca-se o famoso camarão na moranga, prato típico da culinária brasileira, especialmente no litoral, em que a polpa da abóbora é cozida e o fruto inteiro é transformado em uma espécie de “casco” recheado com um cremoso preparo de camarão e leite de coco. Outro preparo que remonta às tradições familiares e aos sabores da roça é o doce de moranga em calda de rapadura, geralmente aromatizado com cravo e canela — uma verdadeira iguaria afetiva que marca as mesas e memórias do interior.

Essa abóbora de raízes africanas, adaptada ao solo e à cultura brasileira, ocupa hoje lugar de destaque nas feiras livres de todo o país, inclusive em Alta Floresta. Sua forma, cor, sabor e multifuncionalidade fazem dela um símbolo da diversidade alimentar e cultural que se expressa nas barracas dos produtores e nas receitas que atravessam gerações.

4. ABÓBORA PAULISTINHA (CUCURBITA MOSCHATA)

Entre as abóboras que encantam pelo visual diferenciado e sabor marcante, a mini paulista — como é conhecida popularmente — se destaca nas feiras livres de Alta Floresta por seu formato elegante e pela intensidade de sua cor e doçura. De formato comprido e estreito, semelhante a um cilindro, essa variedade de abóbora apresenta casca verde-escura salpicada por listras em tom creme, o que lhe confere um aspecto visual chamativo e fácil de identificar. Sua polpa, em tom amarelo-alaranjado, é densa e naturalmente adocicada, tornando-se uma excelente base para uma variedade de pratos, do salgado ao doce.

Conhecida por ser mais estreita e leve que a cabotiá, a mini paulista se tornou uma aliada frequente de cozinheiros(as) que valorizam tanto a estética quanto a praticidade. Sua casca relativamente fina facilita o manuseio e o preparo, enquanto sua textura e sabor ampliam as possibilidades na cozinha. Refogados rápidos, sopas encorpadas, saladas mornas, pães nutritivos e até mesmo doces e geleias ganham vida com o uso dessa abóbora, que, além de saborosa, é altamente nutritiva.

Do ponto de vista nutricional, a mini paulista é uma fonte importante de fibras e carboidratos, além de ser rica em vitaminas essenciais como A, B, C, E e K. Contém também minerais fundamentais para a saúde, como ferro, cálcio, fósforo, magnésio, manganês e zinco. Esses nutrientes atuam no fortalecimento do sistema imunológico, na saúde dos ossos, da pele e na prevenção de doenças, graças à presença de antioxidantes que combatem os radicais livres e auxiliam o organismo em processos de regeneração celular.

Essa combinação entre beleza, sabor e saúde também é refletida nas receitas tradicionais que utilizam a abóbora mini paulista como ingrediente principal. Uma das mais populares é a paulistinha recheada, em que o fruto é cortado ao meio e recheado com carne seca desfiada e quinoa, sendo levada ao forno com uma generosa camada de queijo coalho por cima. Outra preparação bastante apreciada nas festas e feiras é o doce cremoso feito com a polpa da mini paulista cozida em leite de coco, canela e açúcar mascavo, geralmente servido em pequenos potes de barro que remetem à culinária afetiva e ancestral.

Na feira de Alta Floresta, a presença da mini paulista representa não apenas a diversidade agrícola da região, mas também o cuidado e o carinho dos produtores locais com a apresentação e o cultivo de variedades que alimentam o corpo e aquecem a alma. Essa abóbora, com seu porte delicado e sabor intenso, é mais uma prova de como os frutos da terra podem ser múltiplos em formas, nomes e sabores — mas igualmente essenciais na mesa e na cultura popular.

5. A ABÓBORA MANTEIGA

A abóbora manteiga, também conhecida pelo nome internacional de *butternut*, chama a atenção por seu formato peculiar, semelhante a uma pera, e por sua coloração suave e uniforme. Com a parte inferior mais arredondada e a superior alongada, sua casca apresenta um tom de laranja pálido, que contrasta com o interior mais vibrante, em laranja intenso. Essa variedade é altamente apreciada por seu sabor naturalmente doce e levemente amanteigado, que agrada a diferentes paladares e se adapta a uma grande diversidade de preparos culinários.

Rica em vitaminas A e C, a abóbora manteiga também é uma importante fonte de minerais como magnésio e potássio, além de conter antioxidantes que ajudam a combater os radicais livres, promovendo a saúde da pele, do sistema imunológico e do metabolismo. Esses atributos tornam essa abóbora não apenas um alimento saboroso, mas também funcional e aliado à alimentação saudável.

Na cozinha, a abóbora manteiga é reconhecida por sua versatilidade. Pode ser utilizada em pratos quentes como sopas e purês cremosos, em assados bem temperados, em recheios para massas e até em versões mais doces, como sobremesas e compotas. Sua casca, por ser relativamente fina e lisa, é fácil de ser retirada, facilitando o manuseio. As sementes também são aproveitáveis e, após cozidas ou assadas, tornam-se um petisco nutritivo.

O preparo dessa abóbora pode seguir diversas etapas conforme a receita desejada. Pode ser assada inteira ou cortada em cubos, tiras ou fatias, dependendo do prato. Seu sabor levemente amanteigado é realçado com temperos simples, como sal, pimenta, azeite, mel, alho e ervas aromáticas como a sálvia. Quando assada, a polpa desenvolve uma textura macia e um sabor profundo, sendo ideal como acompanhamento ou como base para pratos principais.

Além disso, é uma abóbora que se conserva muito bem. Segundo informações divulgadas pela plataforma eCycle, ela pode ser armazenada por meses em local fresco e seco, o que a torna uma excelente escolha tanto para o consumo imediato quanto para estocagem. Essa durabilidade, somada ao seu sabor marcante, a transforma em uma presença constante nas cozinhas que valorizam o aproveitamento integral dos alimentos e a culinária sazonal.

Em Alta Floresta, onde o cultivo e a comercialização de abóboras representam não apenas uma atividade econômica, mas também cultural, a abóbora manteiga é mais uma representante da riqueza agrícola local. Sua presença nas feiras livres evidencia o cuidado dos agricultores com a diversidade de cultivares oferecidas e reforça o protagonismo da agricultura familiar na construção de hábitos alimentares mais saudáveis e conscientes.

6. A ABÓBORA GOIANINHA

Figura 6 Variedades de abóboras



Fonte: Autoria própria.

A abóbora goianinha, também conhecida em algumas regiões como abóbora-chã, se destaca por sua forma peculiar e por seu sabor adocicado. Popular em Goiás e em outras partes do Brasil, essa variedade é facilmente reconhecida por seu formato cilíndrico e o pescoço alongado, características que a diferenciam das demais abóboras expostas nas bancas da feira. Sua casca pode apresentar tonalidades que variam entre verde escuro, verde claro ou até mesmo amarelo, quase sempre salpicada por manchas brancas que conferem um

charme rústico ao fruto. A polpa é densa, macia e naturalmente doce, o que a torna uma excelente base para pratos tanto salgados quanto doces. Seu aroma agradável e sua textura aveludada após o cozimento fazem dela uma presença constante em preparações caseiras, especialmente em receitas tradicionais de sopas, cremes, refogados e assados. Além disso, é uma boa escolha para recheios diversos e composições de pratos mais elaborados, valorizando desde o dia a dia até a culinária regional de festividades.

Em relação ao cultivo, é uma planta rasteira, vigorosa e bastante produtiva. Adaptada ao clima quente, pode ser cultivada ao longo de todo o ano, o que favorece sua ampla presença nas feiras e nos mercados populares. Seu plantio é feito diretamente no solo definitivo, com profundidade de cerca de 2 centímetros e espaçamento entre as covas de aproximadamente 3 metros, o que garante um bom desenvolvimento das ramas e frutos. Seu peso costuma variar entre 400 gramas e 1 quilo, o que a torna prática para comercialização e para uso doméstico.

Essa variedade de abóbora ainda carrega consigo uma curiosidade interessante: em algumas regiões, ela também é chamada de abóbora cabotiá ou mesmo abóbora japonesa, o que pode gerar confusão com a verdadeira cabotiá, de formato mais arredondado e polpa ainda mais firme. Ainda assim, na região Centro-Oeste e em estados como Mato Grosso e Goiás, o nome "goianinha" se consolidou como uma forma afetiva e regional de designar essa abóbora tão presente na culinária local. A goianinha representa, assim, mais do que uma opção alimentar: ela é símbolo de uma tradição culinária rica, viva e em constante adaptação. Ao lado das demais variedades encontradas em Alta Floresta, ela reafirma o valor das práticas agrícolas locais e da diversidade cultural brasileira expressa também naquilo que se coloca à mesa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diversidade de abóboras da Feira Livre de Alta Floresta-MT – como a cabotiá, a moranga e a goianinha – reflete a riqueza da agricultura familiar e a resiliência socioambiental da Amazônia. Essas variedades, além de nutrirem o corpo com vitaminas, fibras e antioxidantes, sustentam tradições culinárias, geram renda para microempreendedores e resistem à homogeneização dos sistemas agroindustriais.

REFERÊNCIAS

- LANA, M. M.; TAVARES, S. A. (Ed.). **50 Hortaliças: como comprar, conservar e consumir**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 209 p. il. color.
- SHAPIT, B.; SUBEDI, A.; GAUCHAN, R. Ferramentas práticas que estimulam o Manejo Comunitário da Agrobiodiversidade. In: BOEF, W. S. de; THIJSSSEN, M. T.; OGLIARI, J. B.; SHAPIT, B. Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitario. Porto Alegre: L&PM, 2007. p. 136-153.
- SUBEDI, A.; SHAPIT, B.; RIJAL, D.; GAUCHAN, D.; UPADHAYAY, P.; SHRESTHA, P.K. Registro da Biodiversidade Comunitária. In: BOEF, W. S. de; THIJSSSEN, M. T.; OGLIARI, J. B.; SHAPIT, B. Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitario. Porto Alegre: L&PM, 2007. p. 153-160.
- CEAGESP.**
ABÓBORA japonesa é destaque da semana. São Paulo: CEAGESP, 2024. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/abobora-japonesa-dica-ceagesp/>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- EMBRAPA.**
MENEZES, João Batista de; CARDOSO, Aparecida Ibiapina de Moura. Produção de sementes de abóbora. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 197). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/745868/1/documento197.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**
Grupo Interdisciplinar de Agricultura Sustentável – GIAS. Abóboras e morangas: diversidade e valor nutricional. Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gia/abobora.html>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- ECYCLE.**
Abóbora-manteiga: conheça os benefícios e como usar. São Paulo: Ecycle, 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/aboboramanteiga/>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- EMBRAPA.**
HORTALIÇA não é só salada: abóbora. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/abobora>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- GLOBO RURAL.**
CABOTIÁ, caravela, jerimum: conheça 11 variedades de abóbora. Globo Rural, 10 out. 2024. Disponível em: <https://globorural.globo.com/agricultura/hortifruti/noticia/2024/10/cabotia-caravela-jerimum-conheca-11-variedades-de-abobora.ghtml>. Acesso em: 17 jul. 2024.

CAPÍTULO XVII

LEVANTAMENTO DAS VARIEDADES DE MANDIOCA CULTIVADAS POR PEQUENOS AGRICULTORES EM ALTA FLORESTA-MT

SURVEY OF CASSAVA VARIETIES CULTIVATED BY SMALLHOLDER FARMERS IN ALTA FLORESTA-MT, BRAZIL

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-17

Alícia Marques Cardoso Gomes¹

Raimunda Cléia de Oliveira Lima²

Isane Vera Karsburg³

¹ Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

² Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

³ Professora da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

RESUMO

Este trabalho apresenta um levantamento das variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas por pequenos agricultores no município de Alta Floresta, Mato Grosso. A pesquisa foi realizada na feira municipal, por meio de entrevistas com três produtores locais, que relataram as variedades cultivadas, os subprodutos obtidos, os locais de comercialização e o destino da produção. Os resultados revelam uma diversidade significativa de tipos de mandioca (como branca, amarela, cacau, brava, manteiga e vassourinha), além da produção de subprodutos como farinha, goma, massa puba e tapioca. A mandioca, por sua origem sul-americana e por ter sido domesticada por povos tradicionais, representa um importante patrimônio genético e cultural. A seleção feita por esses povos contribuiu diretamente para a diversidade atual da espécie, sendo essencial à segurança alimentar, à cultura local e à sustentabilidade econômica da agricultura familiar na região.

Palavras-chave: Variedades. Centro de origem. Cultivo. Comercialização. Cultura.

ABSTRACT

This study presents a survey of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties cultivated by smallholder farmers in the municipality of Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil. The research was conducted at the municipal farmers' market through interviews with three local producers, who reported the varieties they grow, the cassava-based products they make, and the marketing destinations of their production. The results reveal a significant diversity of cassava types (including white, yellow, cacau, bitter, manteiga, and vassourinha), as well as the production of subproducts such as flour, starch (goma), fermented cassava paste (massa puba), and tapioca. Originally from South America, cassava was domesticated by traditional peoples whose selection processes contributed greatly to the crop's current diversity. Today, cassava represents a key component of food security, local culture, and the economic sustainability of family farming in the region.

Keywords: Varieties. Center of origin. Cultivation. Commercialization. Culture

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta nativa da América do Sul e representa uma das culturas alimentares mais importantes do Brasil e de diversos países tropicais. Pertencente à família Euphorbiaceae e ao gênero *Manihot*, que compreende mais de 100 espécies, a mandioca é a única espécie domesticada com ampla utilização agrícola e alimentar (SOUZA et al., 2016). Seu cultivo milenar, aliado à sua adaptabilidade a diferentes condições ambientais, a consolidou como base alimentar de milhões de pessoas, especialmente nas regiões tropicais do mundo.

Estudos arqueobotânicos, genéticos e etnobotânicos apontam que o centro de origem e domesticação da mandioca localiza-se no sudoeste da Amazônia, englobando regiões do atual Brasil (Rondônia, Acre e Mato Grosso) e Bolívia (EMBRAPA, 2012). Nessa região, povos indígenas realizaram a seleção e propagação da mandioca a partir da espécie silvestre *Manihot esculenta* ssp. *flabellifolia*, iniciando um processo contínuo de diversificação varietal que permanece até os dias atuais (ALVES et al., 2020).

A mandioca foi incorporada de forma profunda à cultura alimentar dos povos originários e, posteriormente, das populações tradicionais e agrícolas em todo o território brasileiro. De fácil cultivo, resistente a períodos de seca e com grande potencial energético devido ao elevado teor de carboidratos, a mandioca tornou-se um alimento estratégico para a segurança alimentar, sobretudo em comunidades rurais e de agricultura familiar (OLIVEIRA et al., 2013). Seu valor nutricional, embora limitado em proteínas, é complementado por fibras e micronutrientes, especialmente quando consumida com casca ou em forma de farinha integral.

A versatilidade da mandioca é notável. Além do consumo da raiz cozida ou assada, são derivados dela diversos produtos alimentícios como farinha (fina, grossa, d'água, gomada e de beiju), polvilho (doce e azedo), tapioca, tucupi, sagu, entre outros. Muitos desses produtos mantêm forte vínculo com as tradições culinárias regionais, desempenhando papel central na economia doméstica e na geração de renda para pequenos produtores (ALVES et al., 2020).

No Brasil, coexistem duas grandes categorias de mandioca: a mandioca mansa (também chamada de macaxeira ou aipim), com baixos teores de compostos cianogênicos e apropriada para consumo direto após cozimento; e a mandioca brava, que exige processamento prévio devido à presença de cianeto, sendo tradicionalmente utilizada na

fabricação de farinhas e tucupi. Essa distinção é fundamental tanto para a segurança alimentar quanto para a classificação dos produtos comercializados.

A diversidade de variedades cultivadas e o conhecimento tradicional associado ao seu manejo representam um valioso patrimônio genético e cultural, muitas vezes transmitido oralmente entre gerações. A preservação dessa diversidade é essencial para o enfrentamento das mudanças climáticas, o fortalecimento da soberania alimentar e a valorização dos sistemas agrícolas locais (SOUZA et al., 2016).

Neste capítulo, apresentamos os resultados de um levantamento realizado com pequenos agricultores do município de Alta Floresta – MT, com o objetivo de identificar as variedades de mandioca cultivadas, os produtos derivados, os valores agregados e os canais de comercialização utilizados pelos produtores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CENTRO DE ORIGEM DA MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma espécie domesticada a partir de populações silvestres do gênero *Manihot*, endêmicas da América do Sul. O centro de origem mais aceito pela comunidade científica situa-se na região sudoeste da Amazônia, abrangendo partes dos estados de Rondônia, Acre e Mato Grosso, no Brasil, além de regiões da Bolívia (EMBRAPA, 2012). Evidências arqueológicas e genéticas indicam que populações indígenas realizaram, há milhares de anos, a seleção de variedades a partir da espécie silvestre *M. esculenta* ssp. *flabellifolia*, promovendo sua domesticação e difusão.

De acordo com Renvoize et al. (1972), desde os primeiros registros da mandioca, esta já se apresentava como um cultígeno, o que reforça o papel crucial das populações indígenas na domesticação da espécie. Além disso, estudos moleculares recentes mostram que a diversidade genética presente em áreas de origem ainda é elevada, evidenciando a importância da conservação in situ dessas variedades (SOUZA et al., 2016).

2.2. DIVERSIDADE DE ESPÉCIES E VARIEDADES CULTIVADAS

O gênero *Manihot* abrange mais de 100 espécies, mas apenas a *M. esculenta* foi domesticada para fins alimentares. No entanto, dentro dessa espécie há uma grande diversidade de variedades cultivadas, especialmente em áreas tradicionais e de agricultura familiar. Em comunidades ribeirinhas, quilombolas e indígenas, a mandioca é cultivada sob

diversos sistemas agrícolas, resultando em ampla variabilidade fenotípica, com diferenças em tempo de cultivo, teor de amido, resistência a pragas e sabor (ALVES et al., 2020).

SOUZA et al. (2016) destacam que essa diversidade é mantida por meio do conhecimento tradicional, sendo fundamental para a resiliência dos sistemas produtivos frente a mudanças ambientais e sociais. A manutenção dessa agrobiodiversidade contribui ainda para a segurança alimentar e nutricional das famílias agricultoras.



2.3. FORMAS DE USO E SUBPRODUTOS

A mandioca pode ser classificada, segundo o teor de compostos cianogênicos, em mandioca brava e mandioca mansa (também conhecida como macaxeira ou aipim). A primeira exige processamento para remoção do cianeto antes do consumo; a segunda pode ser consumida diretamente após cocção. A distinção entre esses tipos é fundamental para a segurança alimentar das comunidades que a consomem diariamente (EMBRAPA, 2012).

Diversos subprodutos são derivados da mandioca, como farinha seca, farinha d'água, beiju, polvilho (doce e azedo), tapioca, tucupi, entre outros. Esses produtos têm forte valor cultural e são essenciais na alimentação das populações da região Norte e Centro-Oeste do Brasil. Além de seu uso direto na culinária tradicional, os subprodutos da mandioca também possuem grande potencial de comercialização, especialmente em feiras locais e mercados regionais (ALVES et al., 2020).

2.4. VALOR NUTRICIONAL

A mandioca é um alimento altamente energético, sendo rica em carboidratos complexos, especialmente amido. Embora tenha baixo teor de proteínas e micronutrientes quando comparada a outras raízes e tubérculos, seu valor nutricional pode ser ampliado por

meio do aproveitamento integral da planta, incluindo o uso das folhas, que são ricas em proteínas, ferro e vitamina A (OLIVEIRA et al., 2013).

Além disso, a mandioca é livre de glúten, o que a torna uma alternativa importante na dieta de pessoas com doença celíaca ou intolerância ao glúten. Produtos como a tapioca e o polvilho azedo são amplamente consumidos por esse público e têm ganhado espaço no mercado de alimentos saudáveis.

2.5. IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

A mandioca é cultivada, em sua maioria, por agricultores familiares, representando uma importante fonte de subsistência e renda. Em muitas comunidades rurais, sua produção e transformação em subprodutos ocorrem de maneira artesanal, envolvendo a participação de diferentes membros da família, principalmente mulheres. Esse aspecto reforça o papel social e cultural da mandioca, além de sua relevância econômica (ALVES et al., 2020).

Segundo Oliveira et al. (2013), a mandioca é estratégica para a segurança alimentar do país, pois está presente em diversas cadeias produtivas regionais e se adapta a solos pobres e climas adversos, garantindo colheitas mesmo em situações de baixa fertilidade e escassez hídrica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na feira municipal de Alta Floresta, Mato Grosso, que ocorre semanalmente às quartas-feiras e aos domingos. A feira é um espaço importante de comercialização de produtos da agricultura familiar, reunindo produtores do próprio município e de cidades vizinhas.



O levantamento foi conduzido por meio de entrevistas com três agricultores que comercializam mandioca e seus subprodutos na feira. As entrevistas foram realizadas de forma presencial, com abordagem direta aos feirantes em suas bancas, com perguntas pré-definidas, visando identificar as variedades de mandioca cultivadas, os subprodutos derivados e os canais de comercialização utilizados.

A primeira entrevistada foi Simone Aparecida, agricultora familiar que cultiva e comercializa diversas variedades de mandioca, incluindo mandioca branca, mandioca brava, mandioca vassourinha e mandioca cacau. Além das raízes, Simone também produz e comercializa os seguintes subprodutos: massa de puba, goma, farinha de puba grossa e farinha peneirada. Toda a produção é realizada por ela e seu marido, sendo vendida tanto na feira de Alta Floresta, onde mantém uma banca fixa aos domingos, quanto em mercados da cidade vizinha Carlinda-MT.

O segundo entrevistado foi Raimundo Santos Oliveira, agricultor que cultiva mandioca e hortaliças. Ele produz as variedades mandioca branca, mandioca brava e mandioca manteiga. Embora não produza subprodutos a partir da mandioca, realiza a venda direta das raízes na feira dominical. Além disso, comercializa seus produtos em pontos de venda organizados pelo Instituto Ouro Verde (IOV), durante a semana.

A terceira entrevistada foi Franciele Rosário, agricultora residente no município de Paranaíta-MT. Ela comercializa seus produtos na feira de Alta Floresta e cultiva cinco variedades de mandioca: branca, amarela, brava, cacau e mandioquinha-salsa. Franciele também produz e vende farinha, goma, tapioca granulada e tapioca lisa. Seus produtos são comercializados tanto na feira quanto por meio do Instituto Centro de Vida (ICV), através da Cooperativa COOPERVILA.

As informações obtidas por meio dessas entrevistas forneceram subsídios importantes para a compreensão da diversidade de variedades de mandioca cultivadas na região, dos subprodutos produzidos localmente e dos canais de escoamento da produção utilizados pelos agricultores familiares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DIVERSIDADE DE VARIEDADES CULTIVADAS

O levantamento realizado na feira municipal de Alta Floresta-MT revelou uma diversidade expressiva de variedades de mandioca cultivadas por pequenos produtores. Foram identificadas ao todo **sete variedades locais**: mandioca branca, mandioca amarela, mandioca brava, mandioca manteiga, mandioca cacau, mandioca vassourinha, mandioquinha-salsa.

Essa diversidade confirma o que já foi observado por autores como Souza et al. (2016), que destacam a grande variabilidade genética mantida por agricultores familiares, principalmente em regiões amazônicas. Segundo os autores, o cultivo de múltiplas variedades em um mesmo sítio agrícola é uma estratégia de segurança alimentar e resiliência frente às mudanças climáticas e pressões de mercado.

Além disso, observa-se entre os agricultores entrevistados a distinção entre mandioca mansa e brava, o que reflete o conhecimento tradicional sobre o uso seguro da planta. Como apontam Alves et al. (2020), o saber local é fundamental para a seleção e manejo dessas variedades, especialmente aquelas com alto teor de compostos cianogênicos.

4.2. PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS

Dois dos três agricultores entrevistados relataram a produção artesanal de subprodutos derivados da mandioca. Dentre os produtos identificados estão: **massa de puba, goma, farinha peneirada, farinha de puba grossa, farinha comum, tapioca lisa e tapioca granulada**. A produção é realizada de forma caseira, com técnicas herdadas de gerações anteriores, e o beneficiamento agrega valor aos produtos, ampliando as possibilidades de renda.

Franciele Rosário, por exemplo, comercializa não apenas raízes in natura, mas também uma variedade de farinhas e derivados, o que demonstra a multifuncionalidade da mandioca nos sistemas agrícolas familiares. Esse aspecto é reforçado por Oliveira et al. (2013), que apontam a mandioca como uma cultura estratégica para a segurança alimentar, justamente por sua versatilidade de usos e fácil processamento.

A produção desses subprodutos não apenas preserva a cultura alimentar local, como também é responsável por dinamizar a economia das feiras livres e fortalecer redes de comercialização entre municípios próximos.

4.3. CANAIS DE COMERCIALIZAÇÃO E REDES DE APOIO

Todos os agricultores entrevistados comercializam seus produtos na feira municipal de Alta Floresta, sendo este o principal canal de escoamento da produção. No entanto, observou-se também o envolvimento com instituições como o **Instituto Ouro Verde (IOV)** e o **Instituto Centro de Vida (ICV)**, que promovem o acesso a mercados diferenciados e incentivam práticas agroecológicas e o fortalecimento de cooperativas, como a **Coopervila**.

Esse tipo de articulação entre pequenos agricultores e organizações da sociedade civil tem sido fundamental para garantir a inserção dos produtos da agricultura familiar em mercados mais estruturados. Segundo EMBRAPA (2012), a organização dos produtores em cooperativas e associações favorece a valorização dos saberes tradicionais e contribui para a conservação da agrobiodiversidade.

Além disso, a comercialização direta, como ocorre na feira livre, permite que os consumidores tenham acesso a produtos frescos, de origem conhecida, e fortalece a economia local, criando vínculos sociais entre produtores e consumidores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou a relevância sociocultural, econômica e agroecológica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a agricultura familiar no município de Alta Floresta-MT. A diversidade de variedades identificadas, associada ao conhecimento tradicional dos agricultores, reflete um longo processo de seleção, conservação e uso que ultrapassa gerações.

A mandioca é uma planta originária da América do Sul, com provável centro de origem localizado na região sudoeste da Amazônia, abrangendo áreas do atual Brasil, Bolívia e Paraguai. Estudos genéticos e etnobotânicos indicam que os povos indígenas foram os primeiros a domesticar e selecionar a mandioca, diferenciando as variedades mansas (com menor teor de compostos cianogênicos) das variedades bravas (mais tóxicas, porém mais produtivas), conforme suas necessidades alimentares e culturais (Alves et al., 2020; Renvoize et al., 1972).

Essa seleção milenar resultou em uma ampla variedade de tipos de mandioca, cada qual com características próprias quanto ao sabor, cor, textura e uso culinário. Tais conhecimentos foram transmitidos oralmente entre gerações e ainda hoje são preservados por comunidades tradicionais, quilombolas, ribeirinhas e agricultores familiares. Em Alta

Floresta, essa herança é visível nas variedades cultivadas, nos modos de preparo dos subprodutos e nas formas de comercialização local.

A introdução da mandioca na alimentação brasileira se deu justamente por meio desses saberes tradicionais. A base de pratos típicos como beiju, tapioca, farinha e tucupi vem diretamente dos modos de preparo indígenas. Com o passar do tempo, esses alimentos foram sendo incorporados à culinária nacional, tornando a mandioca um dos pilares da alimentação do povo brasileiro, especialmente nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste.

Portanto, valorizar o conhecimento tradicional associado à mandioca é fundamental para promover a soberania alimentar, conservar a agrobiodiversidade, e fortalecer os modos de vida sustentáveis em regiões como a Amazônia mato-grossense. Recomenda-se que políticas públicas incentivem a preservação das variedades locais, apoiem feiras livres, cadeias curtas de comercialização e organizações comunitárias que atuem na manutenção desse patrimônio agrícola e cultural brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. P. et al. **Survey of cassava varieties used in quilombola and riverside communities in the state of Pará.** *Sitientibus – Série Ciências Biológicas*, Feira de Santana, v. 20, n. 1, p. 1–14, 2020.
- EMBRAPA. **Cassava center of origin: archaeological and molecular evidence.** Cruz das Almas: Embrapa Cassava and Fruits, 2012. 6 p. (Technical Communication, 188).
- SOUZA, L. S. et al. **Cassava cultivars and genetic diversity in Brazil.** Cruz das Almas: Embrapa Cassava and Fruits, 2016. 26 p. (Documents / Embrapa Cassava and Fruits, 267)..
- OLIVEIRA, R. P. et al. **Socioeconomic importance of cassava in Brazil.** *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 8, n. 1, p. 21–30, 2013.
- RENVOIZE, S. A. et al. **The origin of *Manihot esculenta* (Euphorbiaceae).** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, Belém, v. 20, p. 1–12, 1972.
- SOUZA, L. M.; PERONI, N.; CLEMENT, C. R. **Domesticating cassava: the role of traditional farmers in the conservation and use of agrobiodiversity.** *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, v. 11, n. 1, p. 77–91, Jan./Apr. 2016.

CAPÍTULO XVIII

DÉFICIT HÍDRICO SOBRE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO, VARIEDADE CHITA FINA

WATER DEFICIT ON THE GERMINATION OF BEAN SEEDS, CHITA FINA VARIETY

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-18

Nadyelly Rayres Moraes Muniz ¹

Monalisa Alves Diniz da Silva ²

Lucas Matheus Monteiro dos Santos ³

Pamela Estefane de Souza Santos ⁴

¹ Mestranda em Produção Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFRPE

² Docente. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

³ Mestrando em Produção Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFRPE

⁴ Mestranda em Produção Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - UFRPE

RESUMO

As leguminosas, como o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), destacam-se mundialmente entre as culturas agrícolas de maior importância e expansão, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical. No entanto, a presença de estresses abióticos, como o déficit hídrico, pode comprometer significativamente o processo de germinação, afetando o potencial produtivo da cultura. Objetivou-se avaliar a germinação de sementes de feijão Chita fina sob a influência do déficit hídrico. O experimento consistiu na submissão das sementes aos seguintes potenciais osmóticos: controle (testemunha), -0,2; -0,4; -0,6; -0,8 e -1,0 MPa de polietileno glicol (PEG 6000). Foram avaliados a germinação (protrusão da raiz primária), o índice de velocidade e o tempo médio de germinação. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado. O déficit hídrico induzido por PEG 6000 ocasiona a redução da germinação (protrusão da raiz primária) e da velocidade do processo germinativo das sementes de feijão Chita fina, à partir do potencial osmótico de -0,6 MPa.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Potencial fisiológico. Escassez hídrica.

ABSTRACT

Legumes, such as the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), are among the most important and expanding agricultural crops worldwide, especially in tropical and subtropical regions. However, abiotic stresses, such as water deficit, can significantly compromise the germination process, affecting the crop's production potential. This study aimed to evaluate the germination of Chita fina bean seeds under the influence of water deficit. The experiment consisted of subjecting the seeds to the following osmotic potentials: control (control), -0.2; -0.4; -0.6; -0.8; and -1.0 MPa of polyethylene glycol (PEG 6000). Germination (primary root protrusion), speed index, and mean germination time were evaluated. A completely randomized design was used. The water deficit induced by PEG 6000 causes a reduction in germination (protrusion of the primary root) and the speed of the germination process of Chita fina bean seeds, starting from the osmotic potential of -0.6 MPa.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Germination. Water scarcity.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa (Hammami *et al.*, 2022) utilizada como alimento em diversos países, sobretudo na América Latina e no Sudeste da África (Castro-Guerrero *et al.*, 2016). As propriedades nutricionais dessa cultura são fatores que contribuem para o sucesso de sua produção. Rico em proteínas, fibras alimentares, carboidratos complexos, vitaminas, minerais e fitoquímicos (Hayat *et al.*, 2014; Messina *et al.*, 2014), figura-se como a leguminosa de grão alimentar mais produzida e consumida no mundo (Bansal *et al.*, 2019). Entretanto, apesar do sucesso da produção de *P. vulgaris*, diversos fatores abióticos podem comprometer o desenvolvimento adequado dessa cultura, como o déficit hídrico.

A influência dos fatores ambientais, incluindo a disponibilidade de água, é um dos aspectos que mais afeta o processo germinativo das sementes. A absorção de água hidrata os tecidos, resultando na intensificação da respiração, hidrólise de proteínas e atividades metabólicas que culminam com o fornecimento de energia e de nutrientes necessários para a retomada do crescimento do eixo embrionário (Duarte *et al.* 2018). Além disso, potenciais hídricos muito negativos, especialmente no início da embebição, interferem na absorção de água, o que pode impedir a continuidade dos eventos envolvidos no processo germinativo das sementes (Marcos Filho, 2015).

Em condições de déficit hídrico, os efeitos primários desencadeados nas sementes são: redução da porcentagem de germinação, aumento do tempo necessário para a germinação (Demontiêzo *et al.*, 2016) e alterações morfológicas, como a redução da raiz e da parte aérea (Gomes Filho *et al.*, 2019).

Tendo em vista que o déficit hídrico afeta negativamente o processo germinativo (Harfi *et al.*, 2016), torna-se necessário o desenvolvimento de estratégias que mitiguem os danos ocasionados por esse tipo de estresse (Sun *et al.*, 2020). Dessa forma, diversas técnicas vêm sendo adotadas em laboratório para simular essa condição no substrato, por meio do uso de soluções aquosas com diferentes potenciais osmóticos. Dentre os compostos mais utilizados, destaca-se o polietileno glicol (PEG 6000), que pode provocar atraso na germinação ou reduzir a porcentagem final de sementes germinadas (Medeiros *et al.*, 2015).

Atualmente, 25% das terras agrícolas do planeta são afetadas pelos impactos do déficit hídrico, sendo este considerado um dos mais importantes fatores abióticos que interferem no

desenvolvimento das culturas (Abido e Zsombik, 2018), sobretudo em zonas áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro (Silva *et al.*, 2024).

No município de Serra Talhada – PE, localizado em uma região semiárida do Nordeste brasileiro, há um consumo rotineiro de variedades de feijão que não são comumente consumidas no dia à dia em outras regiões, entre estas variedades destaca-se o feijão Chita fina. Esta variedade é amplamente cultivada em algumas regiões do Brasil, especialmente no Agreste meridional de Pernambuco. É caracterizada pela espessura reduzida de sua casca, o que resulta em uma textura mais macia e um sabor diferenciado em comparação com outras variedades de feijão. As sementes do feijão Chita possuem formato arredondado, com coloração variada, incluindo tons de bege, marrom claro e o mais característico: o "chita", com manchas ou padrões que conferem a essa variedade seu nome (Cavalcante *et al.*, 2019).

Diante disso, objetivou-se avaliar a capacidade germinativa das sementes de *Phaseolus vulgaris*, var. Chita fina, sob diferentes níveis de déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada / PE (07°57'01" S e 38°17'53" O). As sementes de *Phaseolus vulgaris*, var. Chita fina, foram adquiridas na feira livre do município de Serra Talhada / PE, em 2024.

Inicialmente o teor de água das sementes foi verificado antes das mesmas serem submetidas ao experimento. A metodologia adotada seguiu o protocolo descrito por Brasil (2025), com a utilização de quatro repetições de 25 sementes, as quais foram pesadas e, em seguida, submetidas à temperatura controlada de 105 ± 3 °C, determinada pelo método estufa, durante 24 horas. Empregou-se a equação 1 para calcular a porcentagem do teor de água das sementes.

$$\% \text{Umidade} = \frac{(\text{Peso úmido} - \text{peso seco})}{(\text{Peso úmido} - \text{peso do recipiente})} \times 100 \quad \text{eq. (1)}$$

Para avaliar a influência do potencial hídrico sobre a qualidade fisiológica das sementes de feijão Chita fina, as folhas de papel mata borrão utilizadas como substrato para o teste de germinação (protrusão da raiz primária), foram previamente umedecidas com soluções de polietileno glicol (PEG 6000), referentes à diferentes potenciais osmóticos.

O potencial hídrico de 0,0 MPa correspondeu ao tratamento controle, no qual foi utilizada apenas água destilada. Quanto aos demais níveis de potencial hídrico (-0,2; -0,4; -0,6; -0,8 e -1,0 MPa), para o cálculo da quantidade de PEG 6000 necessária à obtenção de cada potencial osmótico (Tabela 1), foi utilizada a equação proposta por Michael e Kaufmann (1973): $\psi_s = - (1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,67 \times 10^{-4})C T + (8,39 \times 10^{-7})C^2T$, sendo ψ_s = potencial osmótico ou potencial de soluto (bars), C = concentração (g de PEG / kg de água), T = temperatura (°C). O umedecimento do substrato foi realizado com volume de água destilada e/ou solução osmótica equivalente à três vezes o peso do substrato seco.

Tabela 1 - Quantidade de soluto utilizada para preparação de soluções de diferentes potenciais osmóticos com polietileno glicol (PEG) 6000, à temperatura de 25 °C.

Potencial osmótico (MPa)	Concentração (g de PEG / kg de água)
0,00	0,000
-0,20	119,57
-0,40	178,34
-0,60	223,66
-0,80	261,95
-1,00	295,71

Fonte: Autoria própria.

Para avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre a capacidade germinativa das sementes, foram realizadas as seguintes avaliações:

Teste de germinação (TG): semeou-se quatro repetições de 25 sementes sobre três folhas de papel mata borrão, previamente umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos. Destaca-se que as folhas de papel mata borrão não foram reumedecidas com as soluções, e foram trocadas no oitavo dia após a semeadura com o propósito de verificar a continuidade do processo germinativo. Assim, as sementes que não germinaram até o oitavo dia foram dispostas sobre novas folhas de papel mata borrão, devidamente umedecidas com as soluções. Avaliou-se diariamente o número de sementes que germinaram até que a germinação se estabilizasse (17 dias). Foram consideradas como germinadas, as sementes que haviam emitido a raiz primária de aproximadamente 2 mm. Ao final do teste,

contabilizou-se o número total de sementes germinadas para determinar a porcentagem de germinação (PG).

Índice de velocidade de germinação (IVG): foi conduzido em conjunto com o teste de germinação, contabilizando-se diariamente o número de sementes que germinaram até que a germinação se estabilizasse. Empregou-se a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = N1/DQ + N2/D2 + + Nn/Dn$$

Onde: IVG = índice de velocidade de germinação;

N = número de sementes com a protrusão da raiz primária verificado no dia da contagem;

D= números de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem.

Tempo médio de germinação (TMG): Foi avaliado em conjunto com o teste de germinação, com as contagens diárias da protrusão da raiz primária, que possibilitaram estimar o tempo médio de germinação em dias, de acordo com LABOURIAU (1983), utilizando a seguinte fórmula:

$$TMG = (\sum n_i \times t_i) / \sum n_i$$

Onde:

Ni= número de sementes que emitiram a raiz primária no tempo ti (não o número acumulado, mas o número referido para a i-ésima observação);

Ti= tempo (dias) entre a semeadura e a i-ésima observação.

Os dados obtidos no experimento, exceto a determinação do grau de umidade, foram analisados de acordo com o delineamento experimental inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos a análise de variância, e quando significativos a 1 ou 5% pelo teste F, foi realizada a análise de regressão. Todas as análises foram realizadas no software estatístico Sisvar®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água das sementes de feijão Chita fina, determinado antes da exposição aos tratamentos de déficit hídrico, foi de 14,4%.

De acordo com a ANOVA (Tabela 2), as variáveis porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, conforme o teste F, demonstrando a susceptibilidade dessas características às variações nos potenciais osmóticos, o mesmo não foi verificado para o tempo médio de germinação.

Tabela 2 - Análise de variância para germinação (G), Tempo médio de germinação (TMG) e Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Phaseolus vulgaris*, var. Chita fina, submetidas à diferentes potenciais osmóticos. Serra Talhada-PE, 2025.

Fontes de variação	Quadrados Médios			
	GL	G (%)	TMG (dias)	IVG
Potenciais osmóticos	5	3035,73**	1,0733 ^{ns}	22,4343**
Resíduo	24	226,67	0,8333	0,3667
Total	29			
CV		21,30%	58,27%	20,41%

Efeito significativo a 1% (**), a 5% (*) e efeito não significativo (ns); Coeficiente de variação.

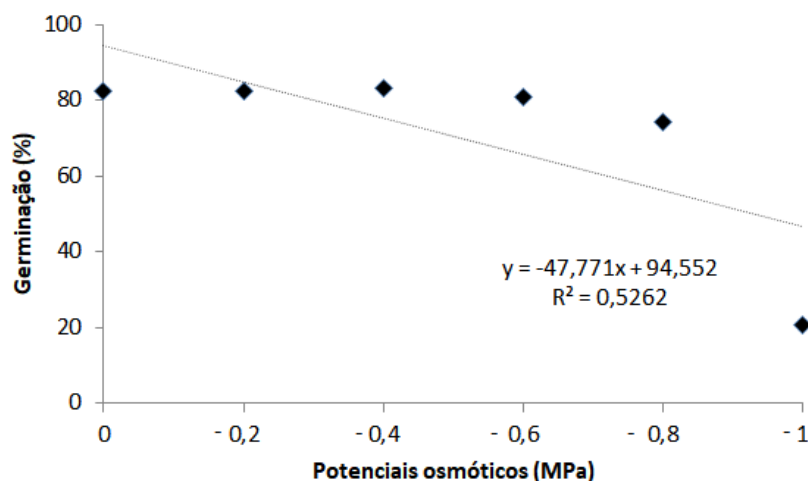
Fonte: Autoria própria.

Em relação à germinação, observou-se que a redução inicial do potencial osmótico não provocou alterações significativas na resposta das sementes submetidas ao estresse, em comparação à ausência de déficit hídrico (0,0 MPa). No entanto, a partir do potencial osmótico de -0,4 MPa, a germinação passou a ser significativamente prejudicada.

Tanto o tratamento controle, sem adição de polietilenoglicol (0,0 MPa), quanto o potencial osmótico de -0,20 MPa apresentaram porcentagens de germinação semelhantes, com aproximadamente 82,4% das sementes exibindo protrusão da raiz primária. Por outro lado, o potencial osmótico de -0,40 MPa resultou em uma maior porcentagem de germinação entre os níveis de estresse avaliados. À partir desse potencial, observou-se uma redução progressiva na germinação em função do aumento do estresse hídrico induzido pelo

polietilenoglicol, uma vez que, o potencial osmótico de -1,0 MPa, proporcionou a menor porcentagem de sementes germinadas (20,8%), conforme a Figura 1.

Figura 1- Germinação (protrusão da raiz primária) de sementes de *Phaseolus vulgaris*, var. Chita-fina, sob diferentes potenciais osmóticos. Serra Talhada – PE, 2025.



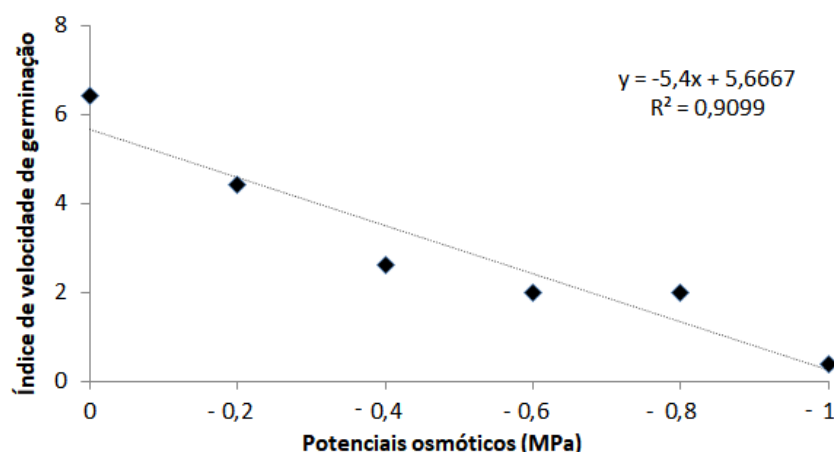
Fonte: Autoria própria

Além disso, observa-se que, à partir do potencial osmótico de -0,40 MPa (178,34 g L⁻¹) até -1,0 MPa (295,71 g L⁻¹), houve uma redução de 62,4% na média da porcentagem de germinação das sementes.

Esses resultados corroboram com os verificados por Coelho *et al.* (2010), os quais, ao avaliarem sementes de feijão *P. vulgaris*, cv. Pérola, submetidas a diferentes potenciais osmóticos (0; -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa), observaram uma redução progressiva na taxa de germinação em função da diminuição do potencial osmótico, sendo o menor percentual registrado na condição de -1,2 MPa.

O incremento do déficit hídrico, induzido pela aplicação de potenciais osmóticos mais negativos, resultou em reduções significativas nos valores médios do índice de velocidade de germinação. Verifica-se que, entre os potenciais osmóticos de 0,0 (controle) até -1,0 MPa (295,71 g L⁻¹), houve uma diminuição de aproximadamente 6% no valor médio desse índice nas sementes avaliadas. Ao comparar os níveis de estresse, observou-se que o potencial osmótico mais prejudicial foi o de -1,0 MPa, o qual reduziu drasticamente o valor de IVG (Figura 2).

Figura 2- Índice de velocidade de germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris*, var. Chita-fina, sob diferentes potenciais osmóticos. Serra Talhada – PE, 2025.



Fonte: Autoria própria

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Araújo *et al.* (2018), os quais verificaram um atraso na germinação de sementes de feijão enxofre, à medida que os potenciais tornaram-se mais negativos.

A redução do potencial osmótico da solução abaixo daquele presente nas células embrionárias compromete diretamente os processos fisiológicos iniciais da germinação, resultando tanto na diminuição da velocidade quanto na porcentagem de germinação (Marcos Filho, 2015). Esse efeito ocorre devido à limitação na absorção de água pelas sementes, etapa essencial para a reativação do metabolismo celular. Em condições de déficit hídrico, há um atraso na hidratação dos tecidos e, conseqüentemente, na digestão e mobilização das reservas nutricionais, o que prejudica a síntese de enzimas e a translocação dos metabólitos necessários ao desenvolvimento do embrião (Taiz *et al.*, 2017).

4. CONCLUSÕES

O déficit hídrico induzido por soluções de PEG 6000 provoca redução na germinação (protrusão da raiz primária), bem como na velocidade do processo germinativo das sementes de feijão Chita fina, à partir do potencial osmótico de -0,60 MPa. Esse efeito compromete significativamente o desempenho fisiológico das sementes, refletindo na diminuição do seu potencial germinativo.

REFERÊNCIAS

- ABIDO, W. A. E.; ZSOMBIK, L. Effect of water stress on germination of some Hungarian wheat landraces varieties. **Acta Ecologica Sinica**, v. 38, n. 6, p. 422-428, 2018.
- ARAÚJO, M. L.; MAGALHÃES, A.C.M., ABREU, M.G.P.; MACIEL, J.A., MELHORANÇA FILHO, A.L. Efeito de Diferentes Potenciais Osmóticos sobre a Germinação e o Desenvolvimento de Plântulas de Feijão Enxofre. **Ensaios e Ciência**, v. 22, n. 3, p. 201–204, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6938.2018v22n3p201-204>.
- BANSAL, P.; RAWAL, V.; BANSAL, V. Pulses of *Phaseolus* and *Vigna* genera. **The Global Economy of Pulses; Rawal, V., Navarro, DK, Eds**, p. 39-70, 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras de Análises de Sementes – Capítulo 14: Análise de Sementes de Espécies Florestais**. Brasília, DF: MAPA/SDA, 2025.
- CASTRO-GUERRERO, N. A.; ISIDRA-ARELLANO, M. C.; MENDOZA-COZATL, D. G.; VALDÉS-LÓPEZ, O. Common bean: a legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to iron, zinc, and phosphate deficiencies. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 600, 2016.
- CAVALCANTE, J. J. G.; CLEMENTINO, T. B.; AMORIM, Y. J. L.; SALES, R. R.; PEREIRA, H. S.; COSTA, A. F.; SANTOS, P. R. dos; FREITAS JUNIOR, S. de P. Novas linhagens de feijão preto para alto rendimento de grãos em Pernambuco. Embrapa Arroz e Feijão, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1118039/novas-linhagens-de-feijao-preto-para-alto-rendimento-de-graos-em-pernambuco>.
- COELHO, D.L.M.; AGOSTINI, E.A.T.; GUABERTO, L.M.; NETO, N.B.M.; CUSTÓDIO, C.C. Differential protein expression during germination as a result of a water deficit associated with variable osmotic pressure in snap-beans. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, p. 491-499, 2010. DOI: 0.4025/actasciagron.v32i3.4694
- DE SOUZA SILVA, J.; DA COSTA, R. S.; DA SILVA, B. A.; MESQUITA, R. O.; DA SILVA, T. I.; OLIVEIRA, M. M.; DE SOUSA LOPES, L. Physiological and biochemical aspects involved in tolerance to water deficit in traditional cowpea. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 1, p. 1519-1533, 2024.
- GOMES FILHO, A.; RODRIGUES, E. N.; RODRIGUES, T. C.; SANTOS, V. J. N.; ALCÂNTARA, S. F.; DE SOUZA, F. N. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de feijão-caupi cv. BRS Pajeú. In: **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 4, p.60-73, 2019.
- HAMMAMI, H.; PARSA, M.; BAYAT, H.; AMINIFARD, M. H. The behavior of heavy metals in relation to their influence on the common bean (*Phaseolus vulgaris*) symbiosis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 193, p. 104670, 2022.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. (2 ed., 660p) Londrina: ABRATES. 2015.

MESSINA, V. Nutritional and health benefits of dried beans¹²³. **The American journal of clinical nutrition**, v. 100, p. 437S-442S, 2014.

MICHEL, B. E.; KAUFMANN, M. R. *The osmotic potential of polyethylene glycol 6000*. **Plant Physiology**, v. 51, n. 5, p. 914–916, 1973. doi:10.1104/pp.51.5.914.

SUN, Y.; WANG, C.; CHEN, H. Y.; RUAN, H. Response of plants to water stress: a meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p. 978, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

CAPÍTULO XIX

CORANTES NATURAIS NA COLORAÇÃO DE GRÃOS DE PÓLEN

NATURAL DYES IN POLLEN GRAIN STAINING

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-19

Jonathan Mateus de Moraes ¹

Rosiane da Silva ¹

Isane Vera Karsburg ²

Graziele Cieslinski Gonçalves ³

Silvan Gomes de Brito ²

¹ Graduando (a) do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso– UNEMAT

² Professor(a) da Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias. Universidade do Estado de Mato Grosso– UNEMAT

³ Doutoranda em Biotecnologia e Biodiversidade - Rede Pró Centro-Oeste - UNEMAT/MT

RESUMO

Este trabalho investigou o uso de corantes naturais extraídos de pétalas de margarida roxa (*Bellis perennis*) e brácteas de primavera (*Bougainvillea spectabilis*) na coloração de grãos de pólen, com foco em sua aplicação didática. A extração foi realizada utilizando vinagre de álcool a 6% e água quente, e os corantes foram aplicados em amostras frescas, e após sete dias de preparo. Observou-se coloração eficaz nos grãos de pólen obtidos de massas de pólen comercializados, após maior tempo de imersão, evidenciando a penetração dos pigmentos nas camadas da exine. A atividade permitiu não apenas a observação morfológica dos grãos de pólen, mas também promoveu práticas laboratoriais sustentáveis e seguras para o ambiente educacional. Ampliando o uso de recursos naturais disponíveis na região da Amazonia Medional. Os resultados reforçam o potencial dos corantes naturais como alternativa aos corantes sintéticos, especialmente em contextos de ensino e extensão científica.

Palavras-chave: Recursos Vegetais. Pigmentos vegetais. Educação científica.

ABSTRACT

This study investigated the use of natural dyes extracted from purple daisy (*Bellis perennis*) petals and spring bracts (*Bougainvillea spectabilis*) in staining pollen grains, focusing on their educational application. Extraction was performed using 6% alcohol vinegar and hot water, and the dyes were applied to fresh samples and after seven days of preparation. Effective staining was observed in pollen grains obtained from commercially available pollen masses after longer immersion, demonstrating pigment penetration into the exine layers. This activity not only allowed for morphological observation of the pollen grains but also promoted sustainable and safe laboratory practices for the educational environment, expanding the use of natural resources available in the Central Amazon region. The results reinforce the potential of natural dyes as an alternative to synthetic dyes, especially in teaching and scientific extension contexts.

Keywords: Plant Resources. Plant Pigments. Science Education

1. INTRODUÇÃO

Os agentes polinizadores desempenham um papel fundamental na reprodução das plantas, facilitando o transporte de grãos de pólen entre flores e garantindo a diversidade genética das espécies (HARDER; JOHNSON, 2008). A polinização é um processo ecológico vital para a manutenção da biodiversidade e da segurança alimentar, já que cerca de 75% das culturas alimentares dependem, em algum grau, da ação de insetos como abelhas, borboletas e outros polinizadores (KLEIN et al., 2007). Dada a importância desse processo, a observação dos grãos de pólen é uma etapa essencial em pesquisas botânicas, ecológicas e também em atividades didáticas no ensino de Ciências e Biologia.

Para a visualização e análise desses grãos, técnicas de coloração são frequentemente utilizadas, permitindo ressaltar estruturas como a exina e o pólo germinativo (FURNESS; RUDALL, 2004). Tradicionalmente, essa coloração tem sido realizada com o uso de corantes químicos sintéticos, como a fucsina básica e o corante Alexander, ambos amplamente empregados em procedimentos laboratoriais para distinguir estruturas celulares (ALEXANDER, 1969). Apesar de eficientes, esses corantes podem apresentar toxicidade e impactos ambientais negativos, incentivando a busca por alternativas mais sustentáveis (NARIMATSU et al., 2020).

Neste contexto, o uso de corantes naturais surge como uma abordagem inovadora e ecologicamente adequada. Entre as fontes botânicas estudadas, destacam-se as pétalas da margarida roxa (*Bellis perennis*) e as brácteas da primavera rosa (*Bougainvillea spectabilis*). A extração dos pigmentos dessas plantas pode ser realizada de forma simples e acessível, utilizando vinagre de álcool a 6% como agente extrator, o que potencializa a aplicação desses corantes tanto em pesquisas quanto em práticas educativas (DE ARAÚJO, 2006).

A margarida roxa apresenta em sua composição flavonoides, especialmente antocianinas, responsáveis pela coloração púrpura das pétalas (PACINI; HESSE, 2005). Da mesma forma, nas brácteas da primavera predominam antocianinas como betacianinas e betaxantinas, que conferem tonalidades vibrantes de rosa e púrpura (OLIVEIRA; ILLOH; OLAGOKE, 2010). Estes pigmentos naturais não apenas oferecem uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente, como também garantem uma coloração eficaz dos grãos de pólen, favorecendo a análise morfológica sem a necessidade de compostos químicos sintéticos.

Neste trabalho teve-se como objetivo, investigar o uso de corantes naturais extraídos de pétalas e brácteas de espécies vegetais comuns como alternativa sustentável aos corantes sintéticos para coloração de grãos de pólen em atividades de ensino. No qual foi levada em consideração a eficácia dos pigmentos naturais na coloração de grãos de pólen frescos e armazenados, a influência do tempo de exposição dos corantes ao grão de e a comparação com o desempenho entre diferentes fontes vegetais e métodos de extração. Promover uma prática pedagógica acessível e contextualizada com os princípios da educação ambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade do Estado de Mato Grosso, no laboratório didático, durante uma aula prática de Recursos genéticos com alunos da licenciatura em Ciências Biológicas. Os materiais vegetais utilizados foram colhidos no mesmo dia, entre uma e duas horas antes do início da aula, e acondicionados em recipientes plásticos. As brácteas de primavera (*Bougainvillea spectabilis*) foram submetidas a infusão em água quente por cerca de 10 minutos, com posterior resfriamento. As pétalas da margarida roxa (*Bellis perennis*) foram imersas diretamente em vinagre de álcool a 6% durante aproximadamente 20 minutos.

A extração foi realizada com materiais simples: copos plásticos, bastões de vidro, papel filtro e funis. O corante resultante foi coletado e aplicado em grãos de pólen desidratados, previamente separados em massas e distribuídos aos grupos. A homogeneização foi feita com bastões de vidro para dissociar as massas e liberar os grãos.

A observação foi feita com microscópios ópticos de ampliação entre 100x e 400x.

Realizou-se uma primeira análise qualitativa no mesmo dia da aula, com os corantes ainda frescos, e uma segunda análise após sete dias, com as amostras armazenadas em temperatura ambiente (à cerca de 20 °C) em recipientes hermeticamente fechados. As duas observações permitiram comparar a intensidade da coloração ao longo do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DO PÓLEN

A morfologia dos grãos de pólen é altamente variável entre os grupos de plantas e reflete adaptações evolutivas relacionadas à polinização. Gimnospermas apresentam grãos de pólen mais simples, enquanto angiospermas desenvolveram padrões complexos de abertura polínica (colpos, poros) e ornamentações na exina (Furness & Rudall, 2004). Grãos tricolpados

predominam em eudicotiledôneas, enquanto grãos monocolpados são comuns em monocotiledôneas.

Tais diferenças têm valor taxonômico e ecológico. Espécies entomófilas (dependentes de insetos) tendem a apresentar grãos maiores e mais ornamentados, com exinas espinhosas ou reticuladas que favorecem a aderência ao corpo dos polinizadores. Em contrapartida, plantas anemófilas (polinizadas pelo vento) possuem grãos menores e mais leves (PACINI; HESSE, 2005).

3.2. EXTRAÇÃO E EFICIÊNCIA DOS CORANTES NATURAIS

Os corantes naturais extraídos demonstraram boa afinidade pelos grãos de pólen. A coloração foi mais intensa nas amostras mantidas por sete dias, o que sugere que o tempo de imersão contribui para maior penetração dos pigmentos através da exina, facilitando a visualização de estruturas internas.

As antocianinas presentes nas flores atuaram de maneira eficaz. As pétalas de margarida roxa produziram uma tonalidade violácea uniforme, enquanto as brácteas de primavera geraram uma coloração mais intensa e rosada, com leve variação conforme a espécie de pólen. Figura 1 A e B.

Estudos semelhantes, como os de Oliveira et al. (2010), demonstraram que extratos de urucum (*Bixa orellana*) e hibisco também são eficazes para a coloração de tecidos vegetais. Isso reforça o potencial dos pigmentos vegetais como alternativa segura, econômica e ambientalmente responsável aos corantes sintéticos.

Ao comparar as duas imagens, a primeira foi capturada logo após a preparação da lâmina, com os grãos de pólen recém-expostos ao corante extraído das pétalas de margarida roxa. A segunda imagem foi registrada após sete dias de armazenamento e a montagem de uma nova lâmina. Observou-se um leve realce na coloração na segunda imagem, em relação à primeira. A pigmentação, que inicialmente se concentrava de forma mais intensa na parede celular, passou a se distribuir de maneira mais uniforme por todo o grão de pólen, evidenciando um possível efeito do tempo de exposição ao corante.

Figura 1 – Corante das pétalas de margarida roxa (*Bellis perennis*) corando grão de pólen. A) Grãos de pólen corados com corante fresco B) grãos de pólen corados com corante envelhecido por 7 dias.

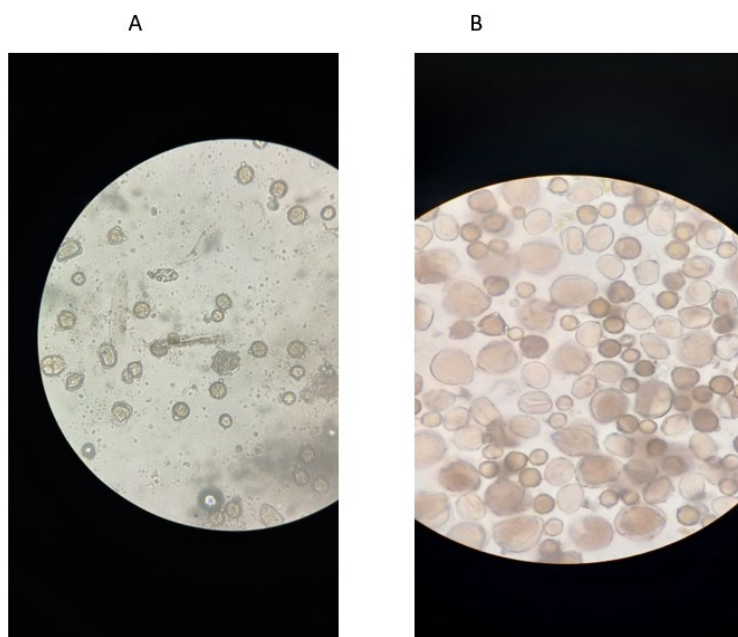
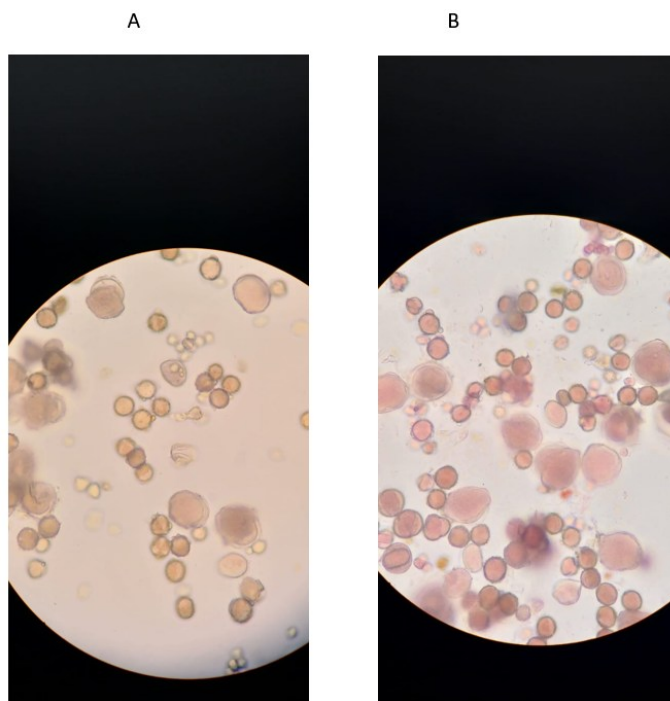


Figura 1: 1º dia de análise. Grãos de pólen corados com pigmento vegetal extraído de pétalas de margarida roxa. Aumento de 40x.

Analise depois de 7 dias da amostra. Grãos de pólen corados com pigmento vegetal extraído de pétalas de margarida roxa. Aumento de 40x.

Figura 2 – Grãos de pólen corados com brácteas de primavera (*Bougainvillea spectabilis*). A) Grãos de pólen corados com corante fresco B) grãos de pólen corados com corante envelhecido por 7 dias.



1º dia de análise. Grãos de pólen corados com pigmento vegetal extraído de brácteas de primavera. Aumento de 40x.

Analise depois de 7 dias da amostra. Grãos de pólen corados com pigmento vegetal extraído de brácteas de primavera. Aumento de 40x.

Ao comparar as duas imagens (Figura 2 a e b), observa-se que a primeira foi capturada logo após a preparação da lâmina, com os grãos de pólen recém-imersos no corante extraído das brácteas de primavera. A segunda imagem, por sua vez, foi registrada após sete dias de armazenamento e a montagem de uma nova lâmina. Nota-se uma leve alteração na tonalidade da coloração, indicando uma discreta mudança entre as duas amostras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de corantes naturais, como os extraídos de pétalas de margarida roxa e brácteas de primavera, se mostrou uma alternativa interessante e sustentável para a coloração de grãos de pólen. Além de proporcionar o uso de recursos genéticos vegetais. Durante o experimento, foi possível perceber como esses corantes auxiliam no destaque de características importantes dos grãos de pólen, como a forma e a ornamentação da exina, que são essenciais para estudos palinológicos e para a identificação de espécies.

A preparação dos corantes naturais, a partir das flores escolhidas, mostrou que, embora haja algumas limitações quanto à durabilidade da cor, eles foram eficientes na coloração dos grãos de pólen. A pigmentação ficou bem definida, principalmente nas paredes celulares, onde a diferença de coloração entre a parede e o interior do grão ficou mais evidente. Durante o experimento, foi possível observar que a coloração, tanto na amostra fresca quanto na armazenada por sete dias, mostrou um leve realce nas amostras mais antigas, sugerindo que a imersão prolongada pode ter ajudado a uniformizar a cor e a intensificar a pigmentação.

Além disso, a pesquisa reforçou a importância de buscar alternativas mais ecológicas, como os corantes naturais, em vez dos sintéticos, que causam sérios impactos ambientais. Com a crescente produção de corantes artificiais e seus efeitos no meio ambiente, usar tinturas naturais, como as provenientes de flores, pode ser uma solução promissora para reduzir os danos causados pela indústria têxtil. O estudo, portanto, contribui para entender melhor as propriedades dos corantes naturais e como eles podem ser aplicados de maneira mais sustentável na ciência.

Por fim, a diversidade morfológica dos grãos de pólen, observada durante a pesquisa, se mostrou um tema fascinante e importante, especialmente para estudos taxonômicos e evolutivos. A análise da coloração e da estrutura dos grãos de pólen oferece uma grande

oportunidade para avançar em estudos sobre a biologia das plantas e sua interação com o ambiente, e pode fornecer informações valiosas para futuras investigações.

A experiência demonstrou a viabilidade e a eficácia do uso de corantes naturais na coloração de grãos de pólen. Além de proporcionarem boa coloração, os pigmentos extraídos das pétalas de margarida roxa e das brácteas de primavera mostraram-se sustentáveis, seguros e acessíveis. A imersão prolongada favoreceu a intensificação da coloração, contribuindo para melhor visualização dos grãos.

REFERÊNCIAS

- ARDITTI, J. et al. Post-pollination phenomena in orchid flowers: Pollinia, ovule numbers, and pollination efficiency. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 160, n. 3, p. 261–274, 2009.
- CHASE, M. W. et al. An updated classification of Orchidaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 177, p. 151–174, 2015.
- DE ARAÚJO, M. E. M. Corantes naturais para têxteis: da antiguidade aos tempos modernos. *Conservar Patrimônio*, n. 3-4, p. 39–51, 2006.
- DRESSLER, R. L. *Phylogeny and classification of the Orchid family*. Portland: Dioscorides Press, 1993.
- FURNESS, C. A.; RUDALL, P. J. Pollen aperture evolution: a crucial factor for understanding angiosperm diversification. *Trends in Plant Science*, v. 9, n. 3, p. 154–158, 2004. DOI: 10.1016/j.tplants.2004.01.002.
- GLOBAL POLLEN PROJECT. Disponível em: <https://globalpollenproject.org/>. Acesso em: 27 abr. 2025.
- HARDER, L. D.; JOHNSON, S. D. The evolution of floral phenotypes: An integrated approach. *International Journal of Plant Sciences*, v. 169, n. 1, p. 59–78, 2008.
- NARIMATSU, Bárbara Mayume Galeti et al. Corantes naturais como alternativa sustentável na indústria têxtil. *Revista Valore*, v. 5, 2020.
- NILSSON, L. A. Orchid pollination biology. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 7, n. 8, p. 255–259, 1992.
- OLIVEIRA, A. J.; ILLOH, H. C.; OLAGOKE, A. O. Triagem de alguns corantes fitoterápicos indígenas para uso em coloração histológica de plantas. *Jornal de Pesquisa Florestal*, v. 21, n. 1, p. 81–84, 2010.
- PACINI, E.; HESSE, M. Pollenkitt: its composition, forms and functions. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 200, n. 5, p. 399–415, 2005. DOI: 10.1016/j.flora.2005.02.002.

PALDAT: Palynological Database. Disponível em: <https://www.palдат.org/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

WALKER, J. W.; DOYLE, J. A. The basis of angiosperm phylogeny: palynology. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 62, n. 3, p. 664–723, 1975. DOI: 10.2307/2395270.

CORANTES ALTERNATIVOS DE ORIGEM VEGETAL: UMA OPÇÃO ECONÔMICA PARA TESTES COLORIMÉTRICOS PARA PÓLENS

ALTERNATIVE DYES OF PLANT ORIGIN: AN ECONOMIC OPTION FOR COLORIMETRIC TESTING

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-20

Ivã Carlos Schuster Júnior¹

Gian Karlos Bisolo¹

Aline Sara Rocha dos Santos²

Graziele Cielinski Gonçalves³

Isane Vera Karsburg⁴

¹ Acadêmico de Biologia pela universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, campus de Alta Floresta - MT

² Mestranda pelo Programa de Genética e Melhoramento de Plantas PGMP, pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

³ Doutoranda pelo Programa de Biotecnologia e Biodiversidade, pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

⁴ Professora Adjunta na Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

RESUMO

O estudo da viabilidade polínica é essencial para o entendimento do potencial reprodutivo das plantas e, consequentemente, para o melhoramento genético. Este trabalho tem como objetivo analisar qualitativamente a eficiência de corantes sintéticos e naturais em testes de viabilidade polínica em *Cosmos sulphureus* Cav., um modelo comum em pesquisas botânicas. Foram utilizados dois corantes sintéticos, o Verde Malaquita e o Lugol 2%, e dois corantes naturais, cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) e margaridão-laranja (*Tithonia sp.*). A análise qualitativa dos dados revelou que, enquanto o Verde Malaquita apresentou alto contraste e clareza, facilitando a distinção entre grãos viáveis e inviáveis, o Lugol apresentou uma coloração difusa, dificultando essa diferenciação. Por outro lado, os corantes naturais, especialmente o cravo-da-índia, mostraram um desempenho satisfatório, destacando-se pela facilidade de preparo, baixo custo e menor impacto ambiental, características que os tornam alternativas viáveis aos corantes sintéticos. Assim, o estudo reforça a importância de corantes naturais no contexto educacional e na promoção de práticas sustentáveis, particularmente em cenários onde a acessibilidade e a segurança são prioritárias.

Palavras-chave: Corantes sintéticos, corantes naturais, recursos genéticos, cravo-da-índia, margaridão-laranja.

ABSTRACT

The study of pollen viability is essential for understanding the reproductive potential of plants and, consequently, for genetic improvement. This study aims to qualitatively analyze the efficiency of synthetic and natural dyes in pollen viability tests in *Cosmos sulphureus* Cav., a common model in botanical research. Two synthetic dyes, Malachite Green and Lugol's, and two natural dyes, clove (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) and orange daisy (*Tithonia sp.*) were used. The qualitative analysis of the data revealed that, while Malachite Green presented high contrast and clarity, facilitating the distinction between viable and nonviable grains, Lugol's presented a diffuse coloration, making this differentiation difficult. On the other hand, the natural dyes, especially clove, showed satisfactory performance, standing out for their ease of preparation, low cost and lower environmental impact, characteristics that make them viable alternatives to synthetic dyes. Thus, the study reinforces the importance of natural dyes in the educational context and in promoting sustainable practices, particularly in scenarios where accessibility and safety are priorities.

Keywords: Synthetic dyes, natural dyes, genetic resources, cloves, orange daisies

1. INTRODUÇÃO

O uso de testes colorimétricos para viabilidade polínica é um recurso importante para estudos na área de melhoramento genético e propagação de espécies, além de ser um importante meio de preservar recursos genéticos vegetais (OLIVEIRA et al., 2020). Essa é uma variável fundamental para o estudo da biologia reprodutiva de plantas, pois fornece informações sobre a fertilidade, a formação de sementes viáveis e o sucesso da polinização, especialmente em espécies de interesse ecológico, agrícola e ornamental (CARVALHO et al., 2008; FERREIRA et al., 2017). Em especial, na espécie *Cosmos sulphureus* Cav. (cosmos-amarelo, figura 1), amplamente cultivada por suas flores vistosas e alta atratividade para polinizadores, como abelhas, a avaliação da viabilidade polínica pode contribuir significativamente para programas de conservação, restauração ecológica e melhoramento genético (WRÓBLEWSKA et al., 2016).

Diferentes fatores influenciam a viabilidade do pólen, incluindo condições ambientais como temperatura, umidade e disponibilidade hídrica (SOUZA et al., 2014). Em contextos de crescente preocupação com a sustentabilidade, torna-se relevante considerar não apenas o conteúdo das análises, mas também os métodos e reagentes utilizados. Tradicionalmente, testes colorimétricos com corantes sintéticos têm sido os mais empregados, como o tetrazólio, o verde de malaquita, o reativo de Alexander, o lugol e a orceína acética. Esses corantes permitem uma visualização clara da viabilidade celular ao promover coloração diferencial entre grãos de pólen viáveis e inviáveis (CARVALHO et al., 2018; SOUZA et al., 2002; SILVA et al., 2017).

O reativo de Alexander, por exemplo, utiliza uma combinação de fucsina ácida e verde de malaquita para distinguir os grãos viáveis (que se coram de verde) dos inviáveis (que permanecem incolores), sendo um dos testes mais sensíveis e específicos disponíveis (CARVALHO et al., 2018). Já o lugol, uma solução aquosa de iodo e iodeto de potássio, interage com o amido presente nos grãos de pólen, colorindo os viáveis em tons escuros (SOUZA et al., 2014). Entretanto, muitos desses corantes apresentam alto custo e toxicidade considerável. O verde de malaquita, por exemplo, é potencialmente cancerígeno e ambientalmente perigoso quando descartado incorretamente (CARVALHO et al., 2018), o que levanta preocupações quanto à sua utilização prolongada em ambientes laboratoriais e educacionais.

Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas mais seguras e sustentáveis. Os corantes de origem vegetal representam uma opção promissora, oferecendo benefícios como baixo custo, menor toxicidade, maior acessibilidade e menor impacto ambiental. Extratos de plantas como o cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry) e a margaridão-laranja (*Tithonia sp.*) têm sido testados como substitutos aos corantes sintéticos em análises citológicas e testes de viabilidade polínica. O cravo-da-índia contém eugenol, um composto com propriedades antimicrobianas e corantes, que pode facilitar a coloração de tecidos vegetais de forma eficiente (SILVA et al., 2017). Já o extrato da margaridão-laranja, embora menos estudado, tem potencial de aplicação devido à intensidade de seus pigmentos naturais (CARVALHO et al., 2018).

Estudos realizados com outras espécies vegetais, como o sorgo granífero (*Sorghum bicolor*), demonstraram que o uso de corantes naturais pode proporcionar resultados confiáveis na diferenciação entre grãos de pólen viáveis e inviáveis, reforçando a viabilidade dessas substâncias como alternativa ao uso de corantes químicos (QUEIROZ et al., 2018). Além disso, a utilização desses compostos naturais tem ganhado destaque em pesquisas que buscam metodologias mais acessíveis para instituições de ensino e projetos de pesquisa com restrições orçamentárias.

Assim, no caso de *Cosmos sulphureus* Cav., uma planta com ampla distribuição e papel importante na promoção da biodiversidade, o uso de corantes naturais para a avaliação da viabilidade polínica torna-se uma ferramenta não apenas eficiente, mas também alinhada às diretrizes de sustentabilidade e segurança. Avaliar a qualidade do pólen dessa espécie por meio de métodos ecológicos pode favorecer estratégias de manejo mais conscientes, bem como fortalecer a educação científica com foco na conservação ambiental.

Portanto, a busca por corantes alternativos de origem vegetal representa um avanço não apenas metodológico, mas também ético e ambiental, proporcionando condições mais seguras, econômicas e sustentáveis para a realização de análises fundamentais na biologia reprodutiva de plantas.

Figura 1. Flor de *Cosmos sulphureus* Cav. Planta pertencente a família botânica Asteraceae e que foi utilizada neste estudo.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas flores em estágio de pré-antese de indivíduos de *Cosmos sulphureus* Cav. cultivados no município de Alta Floresta, MT. As amostras foram transportadas ao laboratório em recipiente hermético e mantidas sob refrigeração até o momento da análise. O estudo teve como objetivo avaliar qualitativamente a eficiência de dois corantes sintéticos (Verde Malaquita e Lugol 2%) e dois corantes alternativos naturais, obtidos a partir de cravo-

da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry) e margaridão-laranja (*Tithonia sp.*), na coloração de grãos de pólen.

Os corantes naturais foram preparados da seguinte forma: o material vegetal de cravo-da-índia foi colocado diretamente em solução de álcool 70%, enquanto o margaridão-laranja foi colocado em vinagre. Após a extração da coloração, os líquidos foram coados com gaze e utilizados como corantes. Procedimentos similares de extração com etanol e solventes ácidos têm sido eficazes em estudos de pigmentos vegetais aplicados em células solares e análises bioquímicas (FEITOSA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2020).

Para a confecção das lâminas, uma gota do corante correspondente foi colocada sobre a lâmina de microscopia e, em seguida, as anteras foram maceradas diretamente nesse meio, utilizando um bastão de vidro, promovendo a liberação dos grãos de pólen na solução corante. As lâminas foram então cobertas com lamínulas. Esse procedimento segue as recomendações metodológicas descritas por (GUERRA; SOUZA, 2002).

Para cada corante, foram confeccionadas cinco lâminas, sendo contabilizados 300 grãos de pólen por lâmina, totalizando 1500 grãos analisados por corante.

As observações foram realizadas em microscópio óptico, com aumentos de 40x e 100x, levando em consideração critérios qualitativos como o contraste de cor entre pólen viável e inviável, intensidade e uniformidade da coloração, além da facilidade de preparo e aplicação de cada corante. Os grãos com coloração intensa e homogênea foram considerados viáveis, enquanto os de coloração pálida ou sem marcação foram interpretados como inviáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo observar, de forma qualitativa, a aplicabilidade de corantes naturais em testes de viabilidade polínica, comparando-os com corantes sintéticos tradicionalmente utilizados para essa finalidade. Embora tenham sido contabilizados 1500 grãos de pólen por corante, distribuídos em cinco lâminas de 300 grãos cada, a contagem foi utilizada como suporte para reforçar a viabilidade do uso de corantes naturais, não como foco estatístico, mas como ferramenta para refletir sobre sua aplicabilidade prática e didática.

Os resultados obtidos evidenciaram diferenças marcantes no comportamento dos corantes em contato com os grãos de pólen de *Cosmos sulphureus* Cav.. Os dois corantes sintéticos utilizados, Verde Malaquita e Lugol 2%, apresentaram coloração que distinguiu os

grãos de pólen viáveis dos inviáveis durante a leitura ao microscópio. O Verde Malaquita demonstrou eficácia, no contraste entre grãos viáveis e inviáveis (Fig. 2B): os viáveis adquiriram coloração verde intensa (Tab 1 – 97,00%), enquanto os inviáveis (Tab 1 – 3,00%) apresentaram tonalidade mais clara. A coloração permitiu a diferenciação nítida dos limites celulares e a uniformidade na coloração chamaram atenção pela praticidade no processo de leitura.

O Lugol 2%, embora geralmente aplicado para identificação da presença de amido, também demonstrou bom potencial de contraste neste estudo (Fig. 2 A). Os grãos de pólen considerados viáveis apresentaram coloração marrom-alaranjada intenso (Tab 1 – 90,13%), enquanto os inviáveis assumiram um tom amarelo pálido (Tab.1 – 9,86%). Embora a coloração não tenha sido tão vibrante, ainda assim permitiu a distinção entre os grãos, o que pode ser interessante em contextos em que há limitação de recursos laboratoriais ou necessidade de adaptação metodológica.

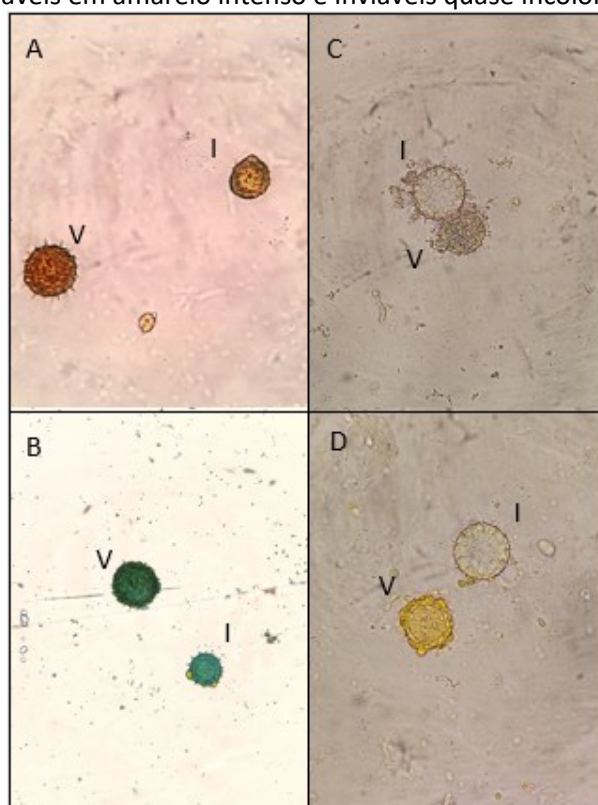
No que diz respeito aos corantes naturais, os resultados foram distintos entre si. O extrato de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry) apresentou um desempenho visualmente satisfatório (Fig.2 D). Os grãos viáveis foram intensamente corados de amarelo (Tab 1 – 82,26%), enquanto os inviáveis ficaram com coloração muito clara (Tab 1 – 17,73%), quase incolor. Esse contraste, apesar de não tão vibrante quanto o proporcionado pelo Verde Malaquita, foi suficiente para permitir uma leitura coerente, com separação visual entre os tipos de grãos. Estudos recentes apontam que os constituintes químicos do cravo, como o eugenol, apresentam elevada capacidade de interação com estruturas celulares, o que pode explicar sua eficácia como corante biológico (BATIHA et al., 2020).

Além disso, o preparo simples do extrato, o baixo custo dos materiais e a facilidade de acesso à planta reforçam seu potencial como alternativa sustentável, especialmente em projetos de educação ambiental, ensino de biologia e práticas laboratoriais em escolas e universidades que buscam materiais de baixo custo (NAZARÉ, s/d).

Por outro lado, o extrato de margaridão-laranja (*Tithonia sp.*) apresentou coloração com contraste entre os grãos de pólen viáveis e inviáveis de forma clara (Fig 2 C). Os grãos de pólen viáveis (Tab. 1 – 80,53%) foram distintos pela observação da leve coloração da intine do gameta, já o grão de pólen inviável (Tab. 1- 19,47%), que normalmente não apresenta a intine, apenas destacou a exine do gameta. observados foram uniformes, dificultando a diferenciação ao microscópio, mesmo sob maior ampliação. Essa limitação, no entanto, não

invalida o uso do margaridão como corante natural: trata-se de uma planta de fácil obtenção, com preparo igualmente simples, e que pode ter seu desempenho melhorado por meio da variação de solventes, tempo de extração ou métodos de concentração dos pigmentos (FEITOSA et al. 2016).

Figura 2. Grãos de pólen viáveis (V) e inviáveis (I) de *Cosmos sulphureus* Cav. corados com diferentes corantes. A: Lugol 2% – grãos viáveis em marrom-alaranjado e inviáveis em amarelo; B: Verde Malaquita – grãos viáveis em verde e inviáveis em azul; C: Extrato de *Tithonia* sp. – coloração menos contrastante entre viáveis e inviáveis; D: Extrato de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry – viáveis em amarelo intenso e inviáveis quase incolores.



Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Avaliação da viabilidade polínica de *Cosmos sulphureus* Cav. corados com diferentes corantes.

CORANTES	VIÁVEL	INVIÁVEL	CV%
VERDE	97,00 ^a	3,00 ^c	
MALAQUITA			
LUGOL 2%	90,13 ^b	9,86 ^b	
CRAVO-DA-ÍNDIA	82,26 ^c	17,73 ^a	
MARGARIDÃO-LARANJA	80,53 ^c	19,47 ^a	
			33,6

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstrou que é possível utilizar corantes naturais como alternativas viáveis aos corantes sintéticos, especialmente em testes de viabilidade polínica de *Cosmos sulphureus* Cav. Embora os corantes sintéticos, como o Verde Malaquita e o Lugol 2%, tenham apresentado colorações nítidas e com bom contraste entre grãos viáveis e inviáveis, os corantes naturais mostraram desempenho superior aos sintéticos, com destaque para o extrato de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry), o qual demonstrou propriedades químicas eficazes já relatadas na literatura especializada (BATIHA et al., 2020; BIOMOLECULES, 2020).

Por outro lado, o extrato de margaridão-laranja (*Tithonia sp.*) apresentou desafios devido à baixa intensidade de coloração entre os grãos viáveis e inviáveis, o que pode limitar sua aplicação direta sem ajustes adicionais no método de extração. No entanto, pela facilidade de obtenção e baixo custo do material, o margaridão-laranja apresenta grande potencial para futuras investigações e otimizações.

Além disso, estudos mostram que o uso de corantes naturais extraídos de plantas tem ganhado destaque não apenas em contextos educacionais, mas também na indústria alimentícia, cosmética e de materiais renováveis, reforçando sua viabilidade e potencial tecnológico (OLEGÁRIO; SANTOS, 2014). A adoção desses materiais pode contribuir significativamente para o avanço de metodologias sustentáveis na educação científica e no desenvolvimento de tecnologias limpas, além de oferecer alternativas práticas em contextos com recursos limitados (FEITOSA et al., 2016).

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pelo suporte institucional e pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico e científico durante minha formação.

REFERÊNCIAS

BATIHA, G. E. S. et al. *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. **Biomolecules**, Basel, v. 10, n. 2, p. 1–16, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/10/2/202>. Acesso em: 17 abr. 2025.

- CARVALHO, A. T. et al. Viabilidade polínica em espécies nativas: alternativas metodológicas e implicações ecológicas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 345–352, 2008.
- CARVALHO, R. O. et al. Avaliação de métodos colorimétricos para testes de viabilidade polínica em espécies arbóreas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 9–18, 2018.
- FEITOSA, A. V. et al. Células solares sensibilizadas com corantes naturais extraído das plantas *Nerium oleander* e *Portulaca grandiflora*. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 1191–1196, 2016.
- FERREIRA, M. C. et al. Avaliação da viabilidade do pólen em programas de melhoramento genético. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 4, p. 320–328, 2017.
- GUERRA, M.; SOUZA, M. J. *Como observar cromossomos: um guia de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana*. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2002. 131 p.
- OLEGÁRIO, L. S.; SANTOS, J. A. B. dos. Prospecção tecnológica sobre o corante natural de urucum (*Bixa orellana* L.). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 7, n. 4, p. 601–611, 2014.
- OLIVEIRA, U. A. et al. Citoquímica e viabilidade polínica de *Theobroma speciosum* Willd. ex Spreng (Malvaceae). In: OLIVEIRA JUNIOR, J. M. B.; CAVÃO, L. B. (org.). **Ciências Biológicas: campo promissor em pesquisa**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. v. 10, p. 114–123.
- QUEIROZ, J. L. et al. Eficácia de corantes vegetais na coloração de grãos de pólen de sorgo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 2, p. 224–230, 2018.
- SILVA, A. F. et al. Corantes naturais: alternativas sustentáveis em análises citológicas. **Cadernos de Ciências Biológicas**, Cascavel, v. 29, n. 1, p. 33–39, 2017.
- SOUZA, M. M. et al. Análise da viabilidade polínica em cucurbitáceas utilizando orceína acética e lugol. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 18, n. 3, p. 393–400, 2002.
- SOUZA, M. M. et al. Comparação de metodologias para avaliação da viabilidade polínica em plantas ornamentais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 80–87, 2014.
- WRÓBLEWSKA, A. et al. Ornamental plants as a pollen source for urban bees: the case of *Cosmos sulphureus*. **Acta Scientiarum Polonorum – Hortorum Cultus**, Lublin, v. 15, n. 3, p. 13–23, 2016.

CAPÍTULO XXI

VISUALIZAÇÃO DE GRÃOS DE PÓLEN UTILIZANDO CORANTES NATURAIS EXTRAÍDOS DE AMORA -PRETA (MORUS NIGRA L.) E CAFÉ (COFFEA ARABICA)

VISUALIZATION OF POLLEN GRAINS USING NATURAL DYES EXTRACTED FROM AMORA-PRETA (MORUS NIGRA L.) E CAFÉ (COFFEA ARABICA)

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-21

Alícia Marques Cardoso Gomes ¹
Raimunda Cléia de Oliveira Lima ¹
Isane Vera Karsburg ²

¹Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

²Professora da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de corantes naturais na coloração de grãos de pólen para análise em microscopia óptica. A investigação buscou alternativas aos corantes artificiais amplamente utilizados, propondo o uso de extratos vegetais como uma opção mais acessível e sustentável. Foram utilizados frutos de amora-preta (*Morus nigra* L.) para a extração do corante, cuja composição rica em antocianinas proporcionou coloração violeta aos grãos de pólen, facilitando a visualização de suas estruturas. Além disso, utilizou-se o café (*Coffea arabica*), cuja eumelanina proporcionou coloração mais amarronzada, porém também muito eficaz para a visualização e distinção entre diferentes tamanhos e formatos dos grãos. A metodologia envolveu a preparação dos corantes naturais com diferentes vegetais, a preparação de lâminas com os extratos naturais e a observação em microscópio óptico. Os resultados demonstraram que ambos corantes são eficazes na coloração dos grãos, contribuindo significativamente para estudos de viabilidade polínica. A proposta reforça a viabilidade do uso de corantes naturais como alternativa aos sintéticos, especialmente em contextos de ensino, pesquisa e extensão que buscam metodologias de baixo custo e menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Pólen. Microscopia. Corante natural. Antocianina.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of natural dyes in the coloration of pollen grains for analysis under light microscopy. The research sought alternatives to the widely used artificial colors, proposing the use of plant extracts as a more affordable and sustainable option. Pink hibiscus flowers (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) were used for the extraction of the dye, whose anthocyanin-rich composition provided magenta color to the pollen grains, facilitating the visualization of their structures. In addition, coffee (*Coffea arabica*) was used, whose eumelanin provided a brownish color, which was not very effective for visualization and distinction between different sizes and shapes of the beans. The methodology involved the preparation of natural dyes with different vegetables, the preparation of slides with natural extracts and observation under an optical microscope. The results showed that some dyes such as Hibiscus are effective in coloring of beans, contributing significantly to pollen viability studies, others such as coffee are needed further studies to adapt eumelanin extraction methods for a better result. The proposal reinforces the feasibility of using natural dyes as an alternative to synthetic dyes, especially in teaching, research and extension contexts that seek low-cost methodologies with lower environmental impact.

Keywords: Pollen. Microscopy. Natural dye. Anthocyanin.



1. INTRODUÇÃO

Grãos de pólen são estruturas microscópicas presentes nas Angiospermas. Tratam-se de estruturas reprodutivas que abrigam o gametófito, órgão responsável pela reprodução masculina nas plantas. O grão de pólen representa um componente adaptativo essencial para muitas espécies vegetais, visto que, a partir do seu surgimento, algumas plantas passaram a não depender mais exclusivamente de agentes externos, como a água e o vento, para o transporte de suas estruturas reprodutivas, o que favoreceu a diversificação das estratégias de reprodução (FERREIRA; DALL'AGNOL; PEREIRA, 2021).

Os estudos sobre viabilidade polínica são de grande relevância para a compreensão do processo de germinação e, conseqüentemente, para a valorização da importância dos grãos férteis na manutenção dos ecossistemas. Para auxiliar essas análises, são frequentemente utilizadas técnicas colorimétricas com diversos métodos e corantes artificiais, como a fucsina, o lugol, o carmim, entre outros. Tais corantes conferem aos grãos de pólen colorações que facilitam a visualização de suas estruturas microscópicas, contribuindo para a clareza das observações e para a eficiência dos procedimentos laboratoriais (OLIVEIRA et al., 2019).

Compreendendo a importância dos grãos de pólen e da acessibilidade aos métodos de coloração, o presente trabalho utilizou dois materiais vegetais, sendo a amora-preta (*Morus nigra* L.) e o café (*Coffea arabica*), para testar sua eficácia como corantes naturais na visualização de grãos de pólen ao microscópio. O pigmento natural predominante na amora-preta é a antocianina, conhecida por sua ampla utilização como corante natural devido à sua intensidade de coloração e propriedades antioxidantes (FREITA et al., 2021), enquanto no café destaca-se a melanina, um pigmento menos explorado para fins laboratoriais, mas com potencial de aplicação em coloração biológica (SILVA et al., 2022).

A *Morus nigra* L., conhecida popularmente como amora-preta, é uma planta com composição fitoquímica altamente rica, destacando-se pela presença significativa de antocianinas, compostos responsáveis por sua intensa coloração roxa e por suas propriedades antioxidantes. As antocianinas presentes nos frutos da amora-preta atuam como corantes naturais, podendo ser utilizadas como alternativa sustentável aos corantes sintéticos em diferentes áreas, como nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica (JACQUES; ZAMBIAZI, 2011). Além dos frutos, suas folhas também apresentam alto valor medicinal, sendo ricas em flavonoides, alcaloides e compostos fenólicos, que demonstram potencial anti-

inflamatório, hipoglicemiante e antimicrobiano (DA SILVA, 2019). As folhas podem ser utilizadas na produção de chás e extratos com propriedades terapêuticas, o que mostra o aproveitamento integral da planta tanto para fins medicinais quanto funcionais.

O *Coffea arabica*, além de ser uma das espécies de plantas mais cultivadas e apreciadas mundialmente, possui em sua composição uma abundância de compostos bioativos, entre os quais se destaca a melanina, pigmento natural que pode ser explorado para aplicações laboratoriais e industriais. A melanina presente nos grãos de café está associada a propriedades antioxidantes, fotoprotetoras e de estabilidade térmica, características que contribuem para sua viabilidade como corante natural em diversas aplicações (SANTOS et al., 2018). Além disso, os resíduos da torrefação, como a borra de café, também contêm compostos fenólicos e pigmentos que reforçam seu potencial de reaproveitamento em processos sustentáveis (SILVA et al., 2023). A presença de ácidos clorogênicos, cafeína e outros metabólitos secundários no grão confere ao café não apenas um valor nutricional e funcional, mas também aplicabilidade em áreas como cosméticos, farmacêutica e biotecnologia.

Este estudo teve como objetivo investigar o potencial de corantes naturais extraídos de materiais vegetais como alternativa sustentável aos corantes sintéticos tradicionalmente utilizados na coloração de grãos de pólen. A análise considerou a eficácia dos pigmentos na coloração de amostras recém-coletadas e armazenadas, bem como a influência do tempo sobre a estabilidade da coloração, comparando o desempenho dos corantes imediatamente após a extração e sete dias depois. Além de propor métodos acessíveis de produção e aplicação dos corantes, este trabalho busca incentivar práticas laboratoriais mais sustentáveis e mais acessíveis, para que possam ser utilizadas no ensino de forma prática, econômica

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. GRÃO DE PÓLEN E SUA IMPORTÂNCIA BIOLÓGICA

Os grãos de pólen tratam-se do gametófito masculino das plantas que possuem sementes e se desenvolvem na antera, a partir de células esporogênicas. Eles podem variar suas estruturas de acordo com as diferentes espécies vegetais, mas a maior parte apresenta estruturas como a parede esporoderme, composta normalmente por intina, que protege o conteúdo celular do grão, e exina, camada mais externa composta por esporopolinina, cuja

função é proteger e dar resistência ao grão para suportar os fatores químicos e biológicos do ambiente (Ribeiro et al., 2013).

Segundo Evaldt et al. (2009, p. 249), “os grãos de pólen e esporos apresentam uma variedade morfológica que pode ser associada às condições ambientais da região, sendo amplamente utilizado para o entendimento e a interpretação das mudanças na vegetação”.

2.2. TÉCNICAS DE COLORAÇÃO EM ANÁLISES PALINOLÓGICAS

Existem diversos métodos e materiais para analisar a viabilidade polínica, desde a germinação in vitro até testes colorimétricos, amplamente utilizados por sua acessibilidade e praticidade. Corantes como Alexander, carmim acético e lugol são frequentemente aplicados e apresentam bons resultados para análise. Segundo Barros, Marques e Araújo (2013), o uso de corantes artificiais é amplamente adotado na palinotaxonomia, pois facilita a visualização de estruturas morfológicas dos grãos de pólen ao microscópio, sendo essencial para a identificação de características diagnósticas em diferentes espécies.

Importância da coloração para a visualização microscópica, a coloração dos grãos de pólen é uma etapa essencial na análise palinológica, pois permite destacar com maior riqueza de detalhes a ornamentação da estrutura da parede polínica, facilitando sua descrição e diferenciação entre táxons. Como destacam Barros, Marques e Araújo (2013), a aplicação de corantes é fundamental para evidenciar características morfológicas que, de outra forma, seriam difíceis de observar em microscopia óptica.

Limitações e riscos dos corantes sintéticos. Apesar dos benefícios e avanços que o método colorimétrico com corantes sintéticos trouxe para os estudos em palinologia, Hister (2015) salienta que seu uso pode apresentar limitações e riscos, como efeitos genotóxicos e citotóxicos, que podem comprometer a integridade das células analisadas e influenciar nos resultados obtidos.

2.3. CORANTES NATURAIS: DEFINIÇÃO, APLICAÇÕES E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Conceito e extração de corantes naturais. Os corantes desempenham um papel essencial em diversas análises envolvendo organismos microscópicos. Utilizados em diferentes técnicas, esses compostos são amplamente comercializados pela indústria química, que utiliza variados insumos para sua produção. Como alternativa, a biotecnologia tem

avançado com o desenvolvimento e testes de corantes naturais, visando um consumo mais consciente e maior acessibilidade.

De acordo com Santos e Silva (2021), corantes naturais são substâncias pigmentantes extraídas de fontes biológicas, como plantas, frutas, flores, raízes e cascas, utilizadas para conferir coloração a diversos produtos. Esses corantes têm ganhado destaque devido à sua menor toxicidade e impacto ambiental em comparação aos corantes sintéticos, além de serem obtidos por meio de processos mais sustentáveis. Além disso, os autores destacam que a extração de corantes naturais pode ser realizada por diferentes métodos, como maceração, extração por fluido supercrítico, extração enzimática, entre outros. A escolha do método depende das características da matéria-prima e do composto de interesse, visando otimizar o rendimento e a qualidade do corante obtido (SANTOS; SILVA, 2021).

Quando se pensa em resíduos, os biocorantes também se mostram bastante viáveis. Vargas (2015) demonstra que, mesmo a partir de resíduos da indústria de polpa de frutas, é possível obter corantes de boa intensidade e estabilidade, reforçando o potencial dessas substâncias para aplicações em diferentes contextos laboratoriais e industriais. O uso de materiais acessíveis como etanol e vinagre apresenta vantagens ambientais e, principalmente, econômicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A prática foi desenvolvida durante as aulas da disciplina de Recursos Genéticos. Os materiais vegetais utilizados como fonte de pigmento natural foram a amora-preta (*Morus nigra* L.) e o café (*Coffea arabica*), coletados e preparados no mesmo dia da aula, garantindo o uso de amostras frescas.

Para o preparo dos corantes, as amoras foram lavadas, trituradas manualmente e deixadas em infusão em vinagre de álcool 6% por 20 minutos. O café, por já estar em pó, foi apenas misturado diretamente a uma mistura de glicerina e vinagre, utilizando a mesma proporção e tempo de imersão. Após esse período, ambas as soluções foram filtradas com auxílio de papel filtro e funis, e os extratos líquidos obtidos foram transferidos para béqueres para facilitar o manuseio durante a aplicação.

Figura 1- Corantes após o tempo de infusão, antes de serem peneirados.



Figura 2- Corantes após serem peneirados, prontos para serem incorporados aos grãos de pólen.



A aplicação dos corantes foi feita diretamente sobre os grãos de pólen desidratados, previamente separados em pequenas porções. Cada grupo utilizou bastões de vidro para dispersar os grãos e garantir melhor contato com o corante. As amostras foram então analisadas em microscópios ópticos com ampliações entre 100x e 400x. A primeira análise foi feita ainda no mesmo dia, com os corantes recém-preparados. Após sete dias, os extratos foram reaplicados, permitindo observar possíveis variações na intensidade da coloração com o passar do tempo. Durante esse intervalo, os corantes foram mantidos em temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C), armazenados em recipientes devidamente fechados.

Figura 3- Grãos de pólen apícola desidratado sendo adicionados nos béqueres para serem corados.



Figura 4- Corante de amora sendo aplicado nos grãos de pólen.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação dos corantes naturais extraídos da amora-preta (*Morus nigra* L.) e do café (*Coffea arabica*) nos grãos de pólen demonstrou resultados satisfatórios quanto à capacidade de coloração e à visibilidade das estruturas sob microscopia óptica. No primeiro dia de análise, os corantes recém-preparados proporcionaram colorações distintas e bem definidas: a amora-preta conferiu aos grãos um tom violáceo intenso, característico da presença de antocianinas (SILVA et al., 2020), enquanto o café promoveu uma coloração amarronzada atribuída à presença de compostos fenólicos como a melanina (SANTOS et al., 2021).

Figura 5- Grãos de pólen visualizados no microscópio após serem pigmentados com biocorante de *Morus nigra* L.

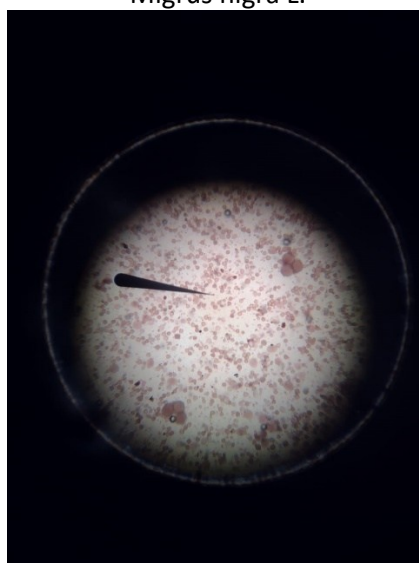
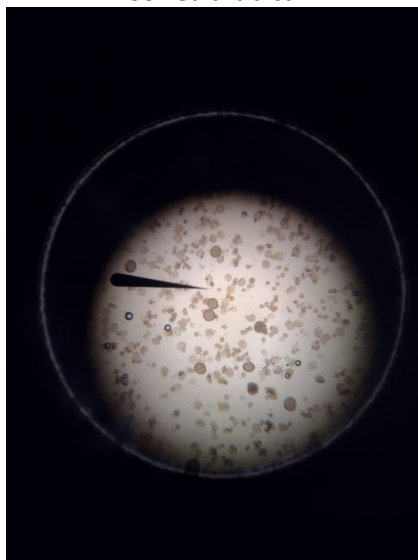


Figura 6- Grãos de pólen visualizados no microscópio após serem pigmentados com biocorante de *Coffea arábica*.



Sete dias após a extração, os corantes armazenados em temperatura ambiente apresentaram discreta redução na intensidade da coloração, especialmente o corante de amora-preta. Essa diminuição pode ser explicada pela instabilidade dos pigmentos naturais, que sofrem degradação por oxidação, luz e variações de pH ao longo do tempo (CORRÊA et al., 2020). Apesar dessa leve perda de intensidade, os corantes ainda permitiram a observação satisfatória dos grãos de pólen, mantendo sua aplicabilidade em atividades de ensino.

Figura 7- Pigmentação dos grãos de pólen corados com *Coffea arabica* após sete dias de preparo.

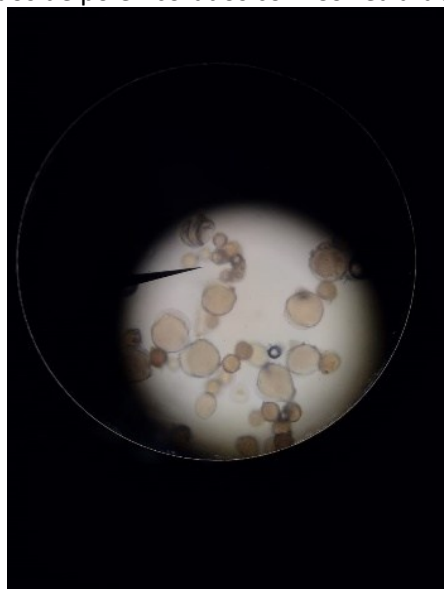
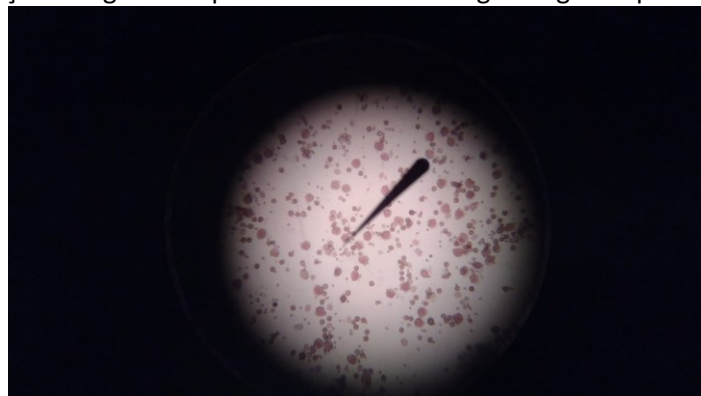


Figura 8- Pigmentação dos grãos de pólen corados com *Migrus nigra* L. após sete dias de preparo.



Estudos como os de Santos et al. (2020) e Sousa et al. (2022) reforçam que pigmentos naturais podem ser utilizados com eficiência em análises microscópicas, desde que aplicados com critérios de preparo e conservação adequados. Além disso, o uso desses corantes oferece uma alternativa sustentável e segura, eliminando a necessidade de substâncias químicas tóxicas, como a fucsina e o carmim, frequentemente utilizadas em ambientes acadêmicos (SOUSA et al., 2022).

Outro aspecto importante observado nessa prática foi o envolvimento ativo dos estudantes durante a atividade. O processo de extração, aplicação e análise dos corantes favoreceu a aprendizagem por meio da experimentação, promovendo o interesse pelo conteúdo abordado. Como destacado por Lima et al. (2021), práticas pedagógicas que envolvem elementos acessíveis e contextualizados tendem a fortalecer a compreensão dos conteúdos e o desenvolvimento de habilidades investigativas no ensino de ciências.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo confirmam que os corantes naturais de amora-preta e café são viáveis para o uso em coloração de grãos de pólen, sobretudo quando utilizados logo após o preparo. Mesmo com a perda parcial de intensidade ao longo dos dias, sua eficácia permanece adequada, representando uma alternativa pedagógica sustentável, econômica e acessível para atividades laboratoriais em cursos da área biológica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que o uso de corantes naturais, como os extraídos da amora-preta (*Morus nigra* L.) e do café (*Coffea arabica*), representa uma alternativa viável, eficiente e ambientalmente sustentável para a coloração de grãos de pólen em análises de microscopia óptica. Os extratos pigmentados, ricos em antocianinas e melanina,

proporcionaram colorações intensas que permitiram a distinção morfológica dos grãos analisados, tanto no momento da extração quanto após sete dias de armazenamento.

Portanto, os resultados obtidos reforçam a importância de integrar práticas sustentáveis ao ensino de ciências, promovendo não apenas a aprendizagem dos conteúdos, mas também o desenvolvimento de uma consciência crítica sobre o impacto ambiental dos materiais utilizados em laboratório, assim como a viabilidade em substituí-los por recursos mais ecológicos. Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação do número de espécies vegetais testadas e a avaliação de diferentes métodos de conservação dos extratos, a fim de explorar ainda mais o potencial desses corantes no ensino e na pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- BARROS, M. J.; MARQUES, I. A.; ARAÚJO, A. C. S. Palynotaxonomy of *Solanum* L. (Solanaceae) species occurring in Chapada do Araripe, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 213–223, 2013.
- CORRÊA, M. S. et al. Applications of natural pigments in science education: ecological and sustainable alternatives. *Revista Saúde e Desenvolvimento*, v. 6, n. 6, p. 51–62, 2020.
- DA SILVA, S. C. C. Physical, chemical and sensory characterization of flour obtained from mulberry leaves (*Morus nigra* L.). 2019. Undergraduate Thesis (Bachelor's in Food Chemistry) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.
- EVALDT, A. C. P. et al. Pollen grains and spores from the Caí River Valley, northeastern Rio Grande do Sul, Brazil: morphological description and ecological considerations. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 7, n. 3, p. 248–255, 2009.
- FERREIRA, J. M.; DALL'AGNOL, R.; PEREIRA, F. M. Pollen viability and morphological analysis of pollen grains in plant species. *Revista FUVS*, v. 18, n. 1, p. 59–67, 2021.
- FREITA, B. F. D. et al. Production of natural dye extracted from jambolan (*Syzygium cumini*). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. e12600, 2021.
- HISTER, C. A. L. Genotoxicity, cytotoxicity, phenolic compounds and pollen viability of *Psidium cattleianum* Sabine (Myrtaceae). 2015. 96 f. Dissertation (Master's in Agrobiology) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- JACQUES, A. C.; ZAMBIAZI, R. C. Bioactive compounds in blackberry (*Rubus* spp.). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, p. 245–260, Jan./Feb. 2011.
- LIMA, T. P. et al. Practice with natural dyes as a didactic tool for botany teaching. *Revista FUVS*, v. 18, p. 51–58, 2020.

- OLIVEIRA, M. A. B. et al. Extracts of *Morus nigra* L. (blackberry) and *Bixa orellana* L. (annatto) to replace hematoxylin and eosin (HE) dyes in routine histological techniques. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 11, n. 2, p. e132, 2019.
- RIBEIRO, H.; PEIXE, A.; SANTOS, M. L. C. dos; CRUZ, A.; ALCHÉ, J. D. D.; ABREU, I. Pollen and pollination. In: O grande livro da oliveira e do azeite. Lisbon: Dinalivro Editora, 2013. p. 129–137.
- SANTOS, J. R. dos; SILVA, R. A. da. Natural dyes: importance and sources of extraction. *Revista Científica Multidisciplinar RECIMA21*, v. 2, n. 8, p. 1–12, 2021.
- SANTOS, L. M. et al. Use of plant extracts as alternative dyes for observing cell structures. *Revista Multidisciplinar em Saúde*, v. 4, n. 1, p. 42–48, 2021.
- SILVA, A. C. et al. Stability of anthocyanins and their use as natural pH indicators. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 13, n. 3, p. 1133–1145, 2020.
- SILVA, M. J. B. et al. Analysis of the use of natural dyes in histological slide staining: an alternative approach. *Revista FUVS*, v. 18, n. 1, p. 59–67, 2021.
- SOUSA, A. R. et al. Environmental education and sustainable practices: the use of natural dyes in cytology teaching. *Revista Saúde e Desenvolvimento*, v. 6, n. 6, p. 34–43, 2022.
- VARGAS, E. F. de. Extraction of natural dyes from residues of the strawberry, blackberry and peach pulp industry. 2015. 96 f. Dissertation (Master's in Food Science and Technology) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CAPÍTULO XXII

AVALIAÇÃO FOTOPROTETORA DO ÓLEO ESSENCIAL DO MANJERICÃO (*OCIMUM BASILICUM* L.): UM ESTUDO *IN VITRO* E *IN SILICO*

PHOTOPROTECTIVE EVALUATION OF BASIL ESSENTIAL OIL (*OCIMUM BASILICUM* L.): AN *IN VITRO* AND *IN SILICO* STUDY

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-22

Renata Kelly Silva Medeiros¹

Jennifer de Oliveira Lemos²

Layane Alves Ramalho³

Gabrielle Nóbrega Alves⁴

Veneziano Guedes de Sousa Rego⁵

Abrahão Alves de Oliveira Filho⁶

¹ Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

² Graduanda do curso de Odontologia. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

³ Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

⁴ Graduanda do curso de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

⁵ Professor Doutor do Curso de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

⁶ Professor Doutor do Curso de Odontologia. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

RESUMO

A alta exposição aos raios solares é um dos principais fatores que contribuem para o desenvolvimento de doenças e lesões associadas à pele humana. Dessa forma, a radiação UV pode ser classificada de acordo com o seu comprimento de onda, sendo divididas nos tipos UVA, UVB e UVC. Nesse contexto, diversas alternativas vêm sendo estudadas para minimizar os impactos causados pela radiação. Dentre essas alternativas, destaca-se o uso de fatores de proteção solar associados a produtos naturais, como os óleos essenciais obtidos através das plantas medicinais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o fator de fotoproteção solar *in vitro* e *in silico* do óleo essencial *Ocimum basilicum* L. através de métodos já estabelecidos na literatura. Na análise *in vitro*, realizou-se a espectrofotometria da substância-teste em diferentes concentrações obtidas do óleo essencial, utilizando-se o cálculo do Fator de Proteção Solar (FPS). Na análise *in silico*, investigou-se a atividade radioprotetora do estragol, um dos componentes majoritários, através do software gratuito PASSonline®. Os resultados *in vitro* demonstraram valores de FPS iguais entre todas as concentrações testadas, os quais ficaram abaixo dos parâmetros estabelecidos pela ANVISA.

Para os resultados *in silico*, o composto estragol apresentou atividade farmacológica compatível com a ação radioprotetora, evidenciando uma probabilidade maior de ser ativo do que inativo. Conclui-se que o óleo essencial do *Ocimum basilicum* L. apresenta potencial fotoprotetor, sendo, contudo, necessárias novas pesquisas para garantir sua eficácia e segurança em aplicações *in vivo*.

Palavras-chave: Fitoterapia. Farmacologia. Radioproteção.

ABSTRACT

High exposure to sunlight is one of the main factors contributing to the development of diseases and injuries associated with human skin. Thus, UV radiation can be classified according to its wavelength, divided into UVA, UVB, and UVC. In this context, several alternatives are being studied to minimize the impacts caused by radiation. Among these alternatives, the use of sun protection factors associated with natural products, such as essential oils obtained from medicinal plants, stands out. The objective of this research was to evaluate the *in vitro* and *in silico* sun photoprotection factor of the



essential oil *Ocimum basilicum* L. using methods already established in the literature. In the *in vitro* analysis, spectrophotometry of the test substance was performed at different concentrations obtained from the essential oil, using the Sun Protection Factor (SPF) calculation. In the *in silico* analysis, the radioprotective activity of estragole, one of the major components, was investigated using the free PASSonline® software. The *in vitro* results demonstrated equal SPF values across all concentrations tested, which were below the parameters established by ANVISA. The *in silico*

results revealed that the compound estragole exhibited pharmacological activity consistent with radioprotective action, indicating a greater likelihood of its being active than inactive. It is concluded that *Ocimum basilicum* L. essential oil has photoprotective potential; however, further research is needed to ensure its efficacy and safety in *in vivo* applications.

Keywords: Phytotherapy; Pharmacology; Radioprotection.

1. INTRODUÇÃO

A elevada exposição a raios provenientes do sol é um dos grandes fatores que contribuem para o surgimento de patologias associados a pele, desde alterações na derme até o aparecimento de lesões que causam a proliferação das células (Silva; Sena, 2017). Conforme o Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2022), aproximadamente 30% dos tumores malignos registrados no Brasil são provenientes do câncer de pele. Dentre esses dados, 90% correspondem ao câncer de pele do tipo não melanoma, o qual tem aumentado entre faixas etárias mais jovens (Zink, 2014).

Ainda de acordo com os dados estatísticos, para o período de 2023 a 2025, estima-se a ocorrência de aproximadamente 220.490 casos de câncer de pele no Brasil, o que representa um risco estimado de 101,95 a cada 100 mil habitantes. Desses, cerca de 101.920 ocorrerão em homens e 118.570 em mulheres (INCA, 2022).

Ao decorrer do tempo, a baixa parcela de imunidade contribui a proliferação de células anormais que, posteriormente, vem a causar o câncer. Ademais, em prazos menores, as radiações solares provocam a queda da quantidade de água e ressecamento na pele, deixando o indivíduo com menos elasticidade, provocando lesões (Cabral; Pereira; Partata, 2011).

Em determinados horários, a incidência dos raios ultravioletas do sol incide de maneira mais intensa na atmosfera. A radiação UV divide-se em três bandas, conforme o seu comprimento de onda específico: UVA (315-400 nm) e UVB (280-315 nm) que são responsáveis pelos efeitos de fotoenvelhecimento e câncer de pele. Já a UVC (100-280 nm), no qual é completamente absorvida a passar pela atmosfera, e, com isso, é considerada a mais letal entre os três tipos (Kashiwabara *et al.*, 2016).

Assim, estudos demonstram que o carcinoma basocelular (CBC) e o melanoma estão, em grande parte, associados à exposição solar intensa, especialmente em faixas etárias

anteriores aos 20 anos. Já o carcinoma espinocelular (CEC) está relacionado ao efeito cumulativo da radiação ultravioleta ao longo dos anos, o que, consequentemente, provoca o surgimento de áreas com danos causados pelo sol (Machado *et al.*, 2022).

Ademais, diversos outros elementos também favorecem o desenvolvimento de lesões e doenças relacionadas à fisiologia da pele humana. Entre eles, destacam-se a predisposição genética, o histórico familiar e o comprometimento do sistema imunológico desses indivíduos (Almeida *et al.*, 2020).

Desse modo, tais riscos podem ser diminuídos com a aplicação de fatores de proteção, exposição à luz solar em horários adequados e uso de equipamentos individuais (Tofetti; Oliveira, 2006). Compreende-se como fotoproteção a junção de processos profiláticos e medicinais que tem por objetivo a prevenção de doenças de pele sucedidas pela alta exposição solar (Kashiwabara *et al.*, 2016).

Atualmente, existe uma crescente demanda por insumos de origem natural e orgânica, devido à alta preocupação com ambiente. Nesse contexto, diversas alternativas vêm sendo pesquisadas e descobertas por estudiosos, já que, algumas substâncias encontradas nas plantas, tem o potencial de atuar como fotoprotetores, devido ao seu potencial de absorver aos raios UV (Cavalcante *et al.*, 2022). Dessa forma, uma planta medicinal tipicamente utilizada e, bastante conhecida, é o *Ocimum basilicum* L.

Por sua vez, *Ocimum basilicum* L., popularmente conhecido como manjeriço, é uma erva pertencente à família *Lamiaceae*, encontrada na Ásia Tropical, na África e nas Américas do Sul e Central. Essa espécie é classificada como angiosperma, apresentando forma de vida do tipo arbusto, erva e subarbusto, com substrato terrícola, não sendo endêmica do Brasil (Antar, 2025).

O manjeriço é bastante ramificado e pode atingir entre 30 e 50 cm de altura, sendo seu ciclo de vida anual ou perene, característica que varia conforme a região de cultivo (Duarte, 2022). Suas flores apresentam coloração branca ou roxa e crescem em um arranjo vertical ao topo da planta. A morfologia floral é composta por cinco pétalas labiada, característica típica de sua família botânica (Oliveira, 2020).

Por ser reconhecido por suas folhas verdes e de categoria aromática, o manjeriço é rico em óleos essenciais e compostos químicos, sendo utilizado como planta medicinal para o auxílio no tratamento de diversas enfermidades (Machado *et al.*, 2011). Além disso, pesquisas indicam que os diferentes genótipos do manjeriço podem diferir quando à composição de

compostos com atividades bioativas, o que pode influenciar a eficácia de seu uso medicinal (Martins, 2023).

Os chamados óleos essenciais podem ser definidos como substâncias produzidas pelas plantas, as quais tem como intuito proporcionar resultados positivos para a saúde e bem-estar dos seus usuários. O óleo essencial do Manjeriço é extraído a partir das folhas e é composto por linalol e metil-cavicol (Blank *et al.*, 2004). Nesse contexto, o manjeriço é utilizado na medicina popular por possuir diversas propriedades terapêuticas, como antitérmico, antiespasmódico e colaborar para o combate de infecções intestinais (Martins *et al.*, 2010).

Por isso, tendo em vista a importância da espécie vegetal, bem como a falta de estudos acerca desse óleo essencial como fotoprotetor, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de fotoproteção *in vitro* e *in silico* do óleo essencial do *Ocimum basilicum* L.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. LOCAL DE ESTUDO

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no *campus* de Patos, Paraíba, Brasil.

2.2. SUBSTÂNCIA TESTE

O óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. foi adquirido na Quinarí, Ponta Grossa-PR. O projeto seguiu as normas do CGEN - Conselho de Gestão do Patrimônio Genético, cadastrado na plataforma SISGEN.

2.3. ENSAIOS IN VITRO

2.3.1. Diluições

Para a realização da análise fotoprotetora do *Ocimum basilicum* L., *in vitro*, foi preparada uma solução mãe com concentração de 10 mg/mL, utilizando-se os agentes dispersantes DMSO (dimetilsulfóxido) e o Tween 80. Posteriormente, a solução foi diluída em álcool isopropílico nas concentrações de 50, 100, 500 e 1000 µg/mL-1.

2.3.2. Espectrofotometria na região do ultravioleta

A espectrofotometria de absorção do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. aconteceu no espectro da radiação ultravioleta, assim realizando varreduras de 290 a 320nm (em intervalos de 5 nm) com duração de 5 minutos, sendo que ao término desse tempo foi efetuada a mensuração da absorbância, como também, a leitura do álcool isopropílico

(solvente) para regular 0% de absorvência a cada varredura. Dessa forma, utilizou-se o espectrofotômetro com cubeta de quartzo de 1 centímetro (cm) e todo o experimento ocorreu a uma temperatura de 23°C.

2.3.3. Cálculo do FPS

Após a mensuração das absorvências, os dados foram submetidos à equação de Mansur e colaboradores (1986) para aferir o FPS *in vitro*. Esse método coloca em lista o efeito eritematogênico e a intensidade da radiação (EE X I) que foram medidos por Sayre e colaboradores (1979). Esses são demonstrados na tabela 1.

Tabela 1 - Relação efeito eritematogênico (EE) versus intensidade da radiação (I) conforme o comprimento de onda (λ).

λ/nm	EE x I
290	0,0150
295	0,0817
300	0,2874
305	0,3278
310	0,1864
315	0,0839
320	0,0180

Fonte: Elaborado pelos autores.

Sendo que a equação de Mansur et al. (1986), é também composta pela leitura espectrofotométrica da absorvência da solução e fator de correção (=10). Essa fórmula pode ser observada, a seguir:

$$320 \text{ FPS espectrofotométrico} = \text{FC} \cdot \sum \text{EE}(\lambda) \cdot I(\lambda) \cdot \text{Abs}(\lambda) \cdot 290$$

Assim, observamos que: FPS = fator de proteção solar; FC = fator de correção, calculado de acordo com dois filtros solares de FPS conhecidos e testados em seres humanos, de tal forma que um creme contendo 8% de homossalato resultasse no FPS 4; EE(λ) = efeito eritematogênico da radiação de comprimento de onda; I (λ) = a intensidade da luz solar no comprimento de onda e Abs (λ) = a absorvência da formulação no comprimento de onda.

2.4. ENSAIOS IN SILICO

A investigação do potencial radioprotetor dos componentes majoritários do óleo essencial foi realizada utilizando o software gratuito PASSonline®. O PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) online é um software destinado para avaliar o potencial biológico geral de uma molécula orgânica sobre o organismo humano, em especial, o potencial radioprotetor. Este programa fornece previsões simultâneas de muitos tipos de atividades biológicas com base na estrutura dos compostos orgânicos. O espectro de atividade biológica de um composto químico é o conjunto de diferentes tipos de atividade biológica, que refletem os resultados de interação do composto com várias entidades biológicas. O PASSonline® dá várias facetas da ação biológica de um composto, obtendo os índices Pa (probabilidade "de ser ativo" e Pi (probabilidade "de ser inativo") estimando a categorização de um composto potencial em ser pertencente à subclasse de compostos ativos ou inativos, respectivamente (Srinivas *et al.*, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo, obtidos da análise *in vitro* do Fator de Proteção Solar (FPS) do *Ocimum basilicum* L., podem ser observados na Tabela 2, a qual demonstra que as concentrações de 50 µg/mL, 100 µg/mL, 500 µg/mL e 1000 µg/mL apresentaram valores de FPS iguais a 0,00.

Tabela 2: Fator de Proteção Solar (FPS) do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. em diferentes concentrações.

Concentrações	50 µg/mL	100 µg/mL	500 µg/mL	1000 µg/mL
FPS	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) na resolução RDC Nº 629, de 10 de março de 2022, o Fator de Proteção Solar (FPS) é o valor obtido pela razão entre a dose mínima eritematosa em uma pele protegida por um protetor solar (DMEp) e a dose mínima eritematosa na mesma pele quando desprotegida (DME_n), apresentando, portanto, o valor mínimo igual a 6 (Anvisa, 2022). Sendo assim, de acordo com os resultados obtidos na análise *in vitro*, o óleo essencial do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) indicou valores abaixo do recomendado.

Entretanto, outros estudos *in vitro*, conduzidos com plantas da família *Lamiaceae*, também tiveram como objetivo determinar seu fator de proteção solar (FPS). Segundo Silva e colaboradores (2024), o óleo essencial do *Thymus vulgaris*, na concentração de 500 µg/mL apresentou um valor de 5,99 o qual chega muito próximo do valor recomendado e, conseqüentemente, demonstra um melhor efeito para o produto. Já nos estudos de Bezerra (2023), o óleo essencial da *Lavandula hybrida* Grosso nas concentrações de 50 µg/mL, 100 µg/mL, 500 µg/mL e 1000 µg/mL, apresentaram, respectivamente, os valores de 6,88; 6,3; 6,76 e 7,43 que, conforme estabelecido pela ANVISA, os valores nas concentrações são recomendados para o produto testado.

Outrossim, o estudo de Dias (2019), ao utilizar uma formulação de gel hidrofílico de carbopol® nas concentrações de 1,2 e 3 %, determinou o FPS do óleo essencial de *Zingiber officinale* Roscoe através do método de Mansur e colaboradores (1986). Desse modo, o gel contendo o óleo essencial a 2%, nas concentrações de 100 mg/mL, 500 mg/mL e 1000 mg/mL demonstrou FPS, respectivamente, igual a 6,0; 6,9 e 8,5, sendo considerado de moderada proteção solar.

A análise *in silico* da concentração do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L., considerou-se o estragol como um dos componentes majoritários do referido óleo. Neste ensaio, foi observado o potencial radioprotetor que esse terpeno pode apresentar por meio da probabilidade de "ser ativo" (Pa) ou da probabilidade de "ser inativo" (Pi). Em concordância com o apresentado, a seguir, na tabela 3, o estragol demonstrou que o Pa, sendo maior que o Pi, indica que este composto possui uma maior probabilidade de ser ativo em relação a radioproteção.

Tabela 3 - Análise *in silico* da atividade radioprotetora do estragol, um dos componentes majoritários do óleo essencial *Ocimum basilicum* L., de acordo com o software PASSonline®. Pa – Probabilidade de ser ativo; Pi – Probabilidade de ser inativo.

ESTRAGOL	Pa	Pi
Potencial Radioprotetor	0,526	0,023

Fonte: Elaborado pelos autores.

O uso de fitoterápicos com base em espécies vegetais apresenta uma estratégia promissora para o desenvolvimento de produtos eficazes contra a radiação UV. Segundo Silva *et al.* (2025), o desenvolvimento de novos radioprotetores seguros é importante para otimizar

contra lesões e doenças que possam estar associadas a pele humana, protegendo contra os tipos de radiação que incidem sobre a superfície terrestre.

O óleo essencial do manjeriço é amplamente difundido entre as mais diversas culturas. Sua composição é rica em terpenos, fenilpropanóides, álcoois e aldeídos. Assim, os principais composto do óleo incluem o Estragol, Linalol, α -Pineno, β -Pineno, 1,8 cineol, Ocimeno, Borneol, Geraneol, B-Cariphyllona, n-Cinato e Eugenol (Shahrajabian *et al.* 2020).

O estragol, um dos compostos majoritários do óleo essencial do *Ocimum basilicum* L., é um composto orgânico aromático pertencente à classe dos fenilpropanóides e é encontrado nos óleos essenciais de diversas plantas com características medicinais, incluindo espécies como *Ocimum basilicum*, *Ravensara anisata*, entre outras. Nesse sentido, este composto possui efeitos biológicos, e suas atividades farmacológicas são caracterizadas como ansiolíticas (Silva-Alves *et al.*, 2013).

Dessa forma, com base na literatura, estudos demonstram que o estragol apresenta diversos efeitos biológicos, incluindo atividades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias. No estudo de Costa (2022), o estragol potencializou os efeitos inibidores de dois compostos antimicrobianos (Norfloxacin e Brometo de etídio) contra cepas de *Staphylococcus aureus*.

Nesse sentido, no estudo de Júnior (2019), ao avaliar a atividade gastroprotetora do estragol, identificou o seu efeito protetor sobre a mucosa gástrica através de mecanismos antissecretores e antioxidantes. Entretanto, são escassos os estudos que envolvem o estragol e suas características de radioproteção.

De maneira análoga a este estudo, Bezerra e colaboradores (2023) realizaram a análise do linalol *in silico* do óleo essencial de *Lavandula hybrida* Grosso, bem como suas atividades antioxidante e radioprotetora apresentando que, em ambas as análises, o fitoconstituente possui a probabilidade de “ser ativo” (PA) superior à de “não ser ativo” (PI), o que indica resultados promissores para a prevenção dos raios solares.

Já nas pesquisas de Azevedo e colaboradores (2024), observaram o composto carvacrol do óleo essencial *Origanum vulgare* L. e sua atividade radioprotetora e antioxidante, demonstrando uma Pa maior que a Pi para ambas as propriedades, o que indica, de maneira significativa, um resultado positivo quanto à ação fotoprotetora.

Aprofundando os dados desta investigação, Silva e colaboradores (2024) estudaram o composto timol do óleo essencial de *Thymus vulgaris* em relação às atividades radioprotetoras

e antioxidantes, o qual apresentou $P_a > P_i$, o que corrobora para resultados positivos obtidos em suas pesquisas.

4. CONCLUSÃO

Em suma, considerando os resultados obtidos nas análises *in vitro* e *in silico*, pode-se concluir que o óleo essencial do *Ocimum basilicum* L. demonstra uma boa capacidade radioprotetora, o que indica uma alternativa para ações fotoprotetoras à base de produtos naturais. Portanto, torna-se pertinente dar continuidade aos estudos desse fitoquímico, com o intuito de validar os achados científicos e, assim, facilitar o desenvolvimento de um fotoprotetor que potencialize sua eficácia.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA A. C. M.; OLIVEIRA FILHO, R. S.; GOMES, H. C.; PEIXOTO, G. R.; FERREIRA, L. M. A importância da fotoeducação na prevenção do câncer de pele. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 3, n. 2, 2020. Disponível em: <https://bjns.com.br/index.php/BJNS/article/view/95>. Acesso em: 12 de ago. 2025.
- ANTAR, G.M. *Ocimum* in Flora e Funga do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB117019>. Acesso em: 12 ago. 2025
- ANVISA. **AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA**. Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 629, de 10 de março de 2022. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407780/RDC_629_2022_.pdf/8afdb838af85-4690-a9f7-842ba38119ee. Acesso em: 19 de jul. 2024.
- AZEVEDO, M. L. G.; SOARES, A. P. O. CAVALCANTE, A. P. T. M.; SILVA, B. J. N.; SANTOS, L. C; GONÇALVES, A. C. R.; SÁ, J. R. S.; FREIRE, A. L. F.; JÚNIOR, A. T. O.; OLIVEIRA, E. E. S.; MARINHO, V. K. A. S.; ARAÚJO, J. T.; SOUSA, A. P.; ALMEIDA, M. G. V. M.; OLIVEIRA FILHO, A. A. Avaliação do fator de fotoproteção solar do óleo essencial de *Origanum vulgare* L.: um estudo *in vitro* e *in silico*. **Revista Observatório de La Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n.9, p. 01-16, 2024. ISSN: 1696-8352.
- BEZERRA, M. M. S L. Avaliação do fator de fotoproteção solar do óleo essencial da *Lavandura hybrida* grosso: Um estudo *in silico* e *in vitro*. **Monografia (Graduação em Odontologia) – Universidade Federal de campina Grande, Patos -PB, 2023**. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/jspui/handle/riufcg/39149>. Acesso em: 20 de jul. 2025.
- BLANK, A. F.; CARVALHO, J. L. F.S.; SANTOS, A. N. L.; ALVES, P. B.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SILVA-MANN, R.; MENDONÇA, M. C. Caracterização morfológica e agrônômica de acessos de manjeriço e alfavaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p. 113-116, jan-mar 2004.

- CABRAL, L. D. S.; PEREIRA, S. O.; PARTATA, A. K. Filtros solares e fotoprotetores mais utilizados nas formulações no Brasil. **Revista Científica do ITPAC**, Araguaína, v.4, n.3, 2011.
- CAVALCANTE, N. B. PIVA, R. C.; CASTRO, T. L. A.; CARDOSO, C. A. L. Composição química e fator de proteção solar de óleos essenciais das folhas de espécies de *Ocimum*. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 181-191, jun. 2022. DOI: 10.32712/2446-4775.2022.1177.
- COSTA, R. H. S. Atividade antibacteriana e antinociceptiva do estragol e do complexo de inclusão estragol / β -ciclodextrina. **Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Química Biológica)-Universidade Regional do Cariri-URCA Centro de Ciências Biológicas e da Saúde-CCBS**, Crato-CE, 2022. Disponível em: <https://www.urca.br/wp-content/uploads/sites/7/2023/01/RHS-Da-Costa-ATIVIDADE-ANTIBACTERIANA-E-ANTINOCICEPTIVA-DO-ESTRAGOL-E-DO-COMPLEXO-DE-INCLUSAO-ESTRAGOL-%CE%B2-CICLODEXTRINA.pdf>. Acesso em: 22 de jul. 2025.
- DIAS, J. M. F. Produção de gel contendo óleo essencial de gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) e a avaliação da sua atividade antioxidante e fator de proteção solar. **Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande**, Pombal -PB, 2019. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/jspui/handle/riufcg/17033>. Acesso em: 20 de jul. 2025.
- DUARTE, J. C. S. Regimes hídricos e coberturas de solo na produção de manjeriço. 2022. **Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP**, Câmpus de Jaboticabal, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/217910>. Acesso em: 12 de ago. 2025.
- INCA. Câncer de pele. **INCA**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/tipos/pele-melanoma>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- JÚNIOR, E. B. A. Avaliação da atividade gastroprotetora do estragol em modelos animais. **Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos) – Universidade Federal da Paraíba**, João Pessoa-PB, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18866>. Acesso em: 22 de jul. 2025.
- KASHIWABARA, T. B.; KASHIWABARA, Y. M. B.; ROCHA, L. L. V.; BACELAR, L. F. F.; FRANÇA, P. L. V. L. **Medicina Ambulatorial IV**. Montes Claros, MG: Dejan Gráfica e Editora, 2016.
- MACHADO, C. K.; HADDAD, A.; ABRANCHES, I. D.; SANTOS, O.; FERREIRA, L. M.; “Projeto Pele Alerta”: prevenção e detecção precoce do câncer de pele direcionado a profissionais de beleza. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica**, v. 36, p. 236-241, 2022.
- MACHADO, F. M. V. F.; BARBALHO, S. M.; SILVA, T. H. P.; RODRIGUES, J. S. GUIGUER, E. L.; BUENO, P. C. S.; SOUZA, M. S. S.; DIAS, L. S. B.; WIRTTIJORGE, M. T.; PEREIRA, D. G.; NAVARRO, L. C.; SILVEIRA, E. P.; ARAÚJO, A. C. Efeitos do uso de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) no perfil bioquímico de ratos Wistar. **J Health Sci Inst**, v. 29, n. 3, p. 191-

- MANSUR, J. S. et al. Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. An. Bras. **Dermatol**, v. 61, n. 3, p.121-124. 1986.
- MARTINS, A. G. L. D. A.; NASCIMENTO, A. R.; MOUCHREK, J. F. E., MENDES, N.F. E.; SOUZA, A. G.; ARAGÃO, N. E.; SILVA, D. S. V. D. Atividade antibacteriana do óleo essencial do manjeriço frente a sorogrupos de *Escherichia coli* enteropatogênica isolados de alfaces. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p.1791-1796, 2010.
- MARTINS, F. H. F. Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no cultivo hidropônico do manjeriço. **Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza**, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/74658>. Acesso em: 12 de ago. 2025.
- OLIVEIRA, R. C. Cultivo in vitro e ex vitro de cultivares de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia**, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.143>.
- SAYRE, R. M. et al. A Comparison of in vivo and in vitro testing of sunscreens formulas. **Photochemistry and Photobiology**, v. 29, n. 3, p.559-566. 1979.
- SHAHRAJABIAN, M. H.; SUN, W.; C, Qi. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): A review. **International journal of food properties**, v. 23, n. 1, p. 1961-1970, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1828456>. Acesso em: 20 de jul. 2025.
- SILVA-ALVES, K. S. et al. Estragole blocks neuronal excitability by direct inhibition of Na⁺ channels. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 46, n. 12, p. 1056-1063, 2013.
- SILVA, E. W.; SILVA, R. L. B. A.; SILVA A. K. J. P. F.; SILVA, L. M. H.; FRANÇA, E. J.; SOUZA, L. M. Plantas medicinais brasileiras com potencial radioprotetor para o tratamento de radiodermatites. **Revista Universitária Brasileira**, v.3, n.3. p. 057-069, mai 2025. Acesso em: 20 de jul. 2025.
- SILVA, B. J. do N.; FREIRE, A. L. F.; CUNHA, A. L. G. D.; CAVALCANTE, C. F. F.; PINHEIRO, D. E. P.; OLIVEIRA, E. E. S.; SANTOS, L. C.; SILVA, M. L. M. e; AZEVEDO, M. L. G.; SILVA, M. P. ; ARAÚJO, N. G. C.; PAIVA, S. M. B. O.; COSTA, T. S.; MEDEIROS, V. M.; SOUSA, A. P.; ALMEIDA, M.G. V. M.; OLIVEIRA FILHO, A. A. Determinação do fator de fotoproteção solar do óleo essencial *Thymus vulgaris*: um estudo in silico e in vitro. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 11, p. e7747, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n11-115. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7747>. Acesso em: 20 jul. 2025.

- SILVA, P. F.; SENA, C. F. A. A importância do uso de protetor solar na prevenção de alterações dermatológicas em trabalhadores sob fotoexposição excessiva. **Revista Brasileira de Ciências da Vida**, v. 5, n. 1, 2017. Disponível em: <http://jornalold.faculdadecienciasdavid.com.br/index.php/RBCV/article/view/521>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- TOFETTI, M. H. F. C; DE OLIVEIRA, V. R. A importância do uso do filtro solar na prevenção do fotoenvelhecimento e do câncer de pele. **Investigação**, v. 6, n. 1, 2006.
- ZINK, B. S. Câncer de pele: a importância do seu diagnóstico, tratamento e prevenção. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, v. 13, 2014.

CAPÍTULO XXIII

SUPLEMENTAÇÃO DE COMPONENTE DO ÓLEO DE CRAVO (SYZYGium AROMATICUM) EM DIETA DE GALINHAS POEDEIRAS CRIADAS EM SISTEMA LIVRE DE GAIOLAS

SUPPLEMENTATION OF CLOVE OIL COMPONENT (SYZYGium AROMATICUM) IN THE DIET OF LAYING HENS RAISED IN A CAGE-FREE SYSTEM

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-23

Daniela Aguiar Penha Brito¹

Rafaella de Sousa Freitas²

Annanda Carolina Silva Costa²

Rikelly Reis Sarmento²

Richard Mayckon Costa Couto²

Lais Costa Sales²

¹ Professora do Curso de Zootecnia. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, campus São Luís Maracaná – IFMA

² Graduando do Curso de Zootecnia. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, campus São Luís Maracaná – IFMA

RESUMO

Os consumidores de alimentos têm exigido da produção de aves maior preocupação quanto ao bem-estar animal, ao meio ambiente e à segurança dos alimentos. A adoção de sistemas de criação livres de gaiolas e o uso de aditivos mais naturais nas dietas das poedeiras podem atender ao desenvolvimento sustentável na produção de ovos. O óleo de cravo possui propriedades antimicrobianas e antioxidantes de interesse na avicultura, porém pouco estudados quanto ao nível de inclusão. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da suplementação de níveis crescentes do óleo de cravo na dieta sobre o desempenho, produção de ovos e microbiota fecal de poedeiras. Foram distribuídas 96 poedeiras vermelhas em 4 tratamentos (ração com 0, 100, 200 e 300 mg/kg de óleo de cravo) e 2 repetições por 28 dias de produção. Foram analisados o peso corporal, consumo de ração, produção de ovos, peso do ovo e conversão alimentar. Amostras de fezes cecais foram avaliadas quanto a contagem de bactérias *Lactobacillus* e *Salmonella*. Os resultados mostraram que o tratamento com 300 mg/kg de óleo de cravo teve efeitos significativos de reduzir o consumo de ração, aumentar a produção de ovos e

melhorar a conversão alimentar. Não houve efeitos da dieta sobre a contagem de bactérias em amostras de fezes. Concluiu-se que a suplementação de óleo de cravo em dietas de poedeiras comerciais na primeira fase da postura possui efeitos de melhorar o desempenho das aves e a produção de ovos em sistemas de criação livres de gaiola.

Palavras-chave: Avicultura. Óleo de cravo. Nutrição. Ovos. Microbiota.

ABSTRACT

Food consumers have demanded greater concern from poultry production regarding animal welfare, the environment, and food safety. The adoption of cage-free farming systems and the use of more natural additives in laying hens' diets can contribute to sustainable development in egg production. Clove oil has antimicrobial and antioxidant properties of interest in poultry farming, but its inclusion level has been little studied. This study aimed to evaluate the effects of increasing levels of clove oil supplementation in the diet on the performance, egg production, and fecal microbiota of laying hens. Ninety-six red-brown laying hens



were divided into four treatments (feeds containing 0, 100, 200, and 300 mg/kg of clove oil) and two replicates for 28 days of production. Body weight, feed intake, egg production, egg weight, and feed conversion were analyzed. Cecal fecal samples were evaluated for *Lactobacillus* and *Salmonella* bacteria counts. The results showed that treatment with 300 mg/kg of clove oil significantly reduced feed intake, increased egg production, and improved feed

conversion. There were no dietary effects on bacterial counts in fecal samples. It was concluded that clove oil supplementation in the diets of commercial laying hens during the first phase of lay improves bird performance and egg production in cage-free systems.

Keywords: Poultry farming. Clove oil. Nutrition. Eggs. Microbiota.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da população consome os ovos em suas refeições diariamente, o que faz deste alimento uma das principais proteínas consumidas no mundo (Fao, 2023). As proteínas do ovo destacam-se pela alta qualidade nutricional, alta digestibilidade e associação com ácidos graxos essenciais e vitaminas importantes para dieta humana (Réhault-Godbert; Guyot; Nys, 2019).

O crescente consumo de ovos tem promovido o progresso da avicultura de postura no Brasil, conquistando novos nichos de mercado como a indústria de alimentos e o mercado fitness. O país é o quinto maior produtor mundial de ovos e para atender a alta demanda do mercado, a avicultura adota sistemas intensivos de criação de aves, de alta densidade e produtividade. Este segmento depende de um conjunto de insumos e tecnologias aplicadas à nutrição das aves e ao sistema de produção (Abpa, 2024; Farias *et al.*, 2023).

A produção de galinhas poedeiras de alta densidade é predominantemente em gaiolas na América do Sul, porém tem passado por intensas pressões por questões importantes relacionadas ao bem-estar animal. O sistema de criação livres de gaiolas como *cage free* vêm crescendo na produção de poedeiras, pois podem melhorar a qualidade de vida das aves em sistemas intensivos, através da liberdade de expressar seus comportamentos naturais e sociais em contato com o piso, com outras aves e com os ninhos (De Paula; Almeida; Valetim, 2025)

As galinhas poedeiras em ambientes comerciais estão frequentemente expostas a uma variedade de fatores ambiental, nutricional e fisiológico que geram estresse nas aves e suscetibilidade às enfermidades (Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno, 2023). Essas condições afetam negativamente o desempenho produtivo, a qualidade dos ovos e a saúde das aves (Khalil *et al.*, 2017). Uma das estratégias nutricionais adotadas é o uso de aditivos que podem melhorar as propriedades das rações. Dentre deles, os aditivos antimicrobianos melhoradores de desempenho são usados para proporcionar condições adequadas para a saúde da mucosa

intestinal, modulando a microbiota intestinal e melhorando a absorção dos nutrientes da ração (Da Silva *et al.*, 2021).

Entretanto, os consumidores de alimentos têm passado por profundas transformações nos hábitos alimentares, exigindo da produção animal com maior preocupação quanto à saúde e ao meio ambiente, assim como à segurança dos produtos de origem animal (Da Silva, 2019). De forma conjunta, as instituições governamentais de Saúde Única (One Health), em todo mundo, têm recomendado o consumo responsável e reduzido de antibióticos na produção animal (OIE/WOAH., 2021; OMS, 2024). Assim, os aditivos antimicrobianos melhoradores de desempenho na produção animal estão sendo progressivamente banidos e substituídos por outros aditivos alimentares, principalmente não sintéticos e mais sustentáveis (Brasil, 2020; Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno, 2023).

Os óleos essenciais (OE) derivados de plantas são mencionados como os aditivos economicamente mais relevantes, devido às suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatória e antioxidantes comprovadas (Carvalho *et al.*, 2016). O óleo de cravo é extraído de plantas *Syzygium aromaticum* sendo rico em eugenol, um composto fitoquímico aprovado como aditivo aromático para rações de animais no Brasil e na Europa (Brasil, 2020; Efsa, 2017). Este OE possui compostos fenólicos que exibem destacada atividade antimicrobiana no combate a diversos microrganismos prejudiciais à saúde intestinal das aves (Zhao *et al.*, 2022). Possui ainda alto poder antioxidante e efeitos na digestão e características aromáticas que podem ter efeitos de melhorar a digestão e absorção de nutrientes, refletindo em melhor desempenho e qualidade dos ovos (Ghanima *et al.*, 2020; Sehitoylu; Kaya, 2021).

Os óleos essenciais aromáticos poderiam atender às exigências dos consumidores modernos e as preocupações globais das organizações de saúde, buscando alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Assim, este trabalho teve a finalidade de estudar os efeitos da suplementação do óleo de cravo no desempenho, produção de ovos e microbiota fecal de galinhas poedeiras em sistema livre de gaiolas.

2. METODOLOGIA

2.1. ASPECTOS ÉTICOS

O projeto foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) do IFMA, sob o número 23249.058427.2024-75, respeitando todas as normas de bem-estar animal.

2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas 96 poedeiras leves da linhagem Novogen Brown Light, distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos e duas repetições, com 12 aves por unidade experimental. O período de avaliação das dietas experimentais correspondeu a um ciclo de 4 semanas de produção, correspondendo às 27 à 30 semanas de vida. Os tratamentos consistiram em: ração convencional sem eugenol (controle); ração com 100 mg de eugenol/kg (T1); ração com 200mg de eugenol/kg (T2); e ração com 300mg de eugenol/kg (T3).

A ração convencional foi formulada à base de fubá de milho, farelo de soja e núcleo de postura comercial, conforme as recomendações nutricionais das Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (2011). O eugenol puro (100%) extraído do óleo de cravo foi obtido de forma comercial (ACS Científica®), sendo incorporado e misturado na ração convencional, conforme a concentração estabelecida de cada tratamento.

2.3. EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL

As aves foram mantidas em instalações experimentais em modelo *cage free* com densidade de 6 m²/ave, compostas por estrutura metálica revestidas com tela galvanizada. Os boxes foram equipados com bebedouro pendular, um comedouro tipo tubular, um ninho com seis bocas distribuídas em dois níveis e cama aviária de maravalha. As aves receberam iluminação de 14 horas de iluminação natural e artificial, além de ventilação natural e com uso de ventiladores. As práticas de manejo obedeceram às diretrizes descritas no manual técnico da linhagem.

2.4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Durante 27 a 30 semanas de idade, os índices de consumo de ração por ave, peso corporal, ganho de peso, produção de ovos e peso dos ovos foram avaliados semanalmente. A ração fornecida e a sobra foram pesadas diariamente de cada parcela experimental. O consumo de ração por ave/dia foi calculado ao final de cada semana, sendo a sobra de ração pesada diariamente e, por diferença, com a quantidade inicial fornecida dividido pelo número de aves. As aves foram pesadas individualmente uma vez por semana e sendo calculado o peso médio das aves. O ganho de peso foi calculado pela diferença de peso da semana pelo peso da semana anterior.

A coleta dos ovos foi realizada diariamente no período da manhã e da tarde, onde foram contabilizados e pesados em balança digital com precisão de 0,01g. A produção de ovos foi calculada pela relação entre o número de ovos produzidos e o número de aves alojadas por período, multiplicando-se o valor por 100. A conversão alimentar foi calculada dividindo-se o consumo de ração pelo peso total dos ovos.

2.5. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRAS FECALIS

Durante o período experimental, foram coletadas e analisadas 1 amostra de fezes de cada parcela experimental. As amostras de fezes foram coletadas com o uso de espátula estéril, foram coletados assepticamente fezes de origem cecal frescas (coloração escura, firme, viscosa e com odor) depositadas sob a cama aviária das aves nas unidades experimentais e armazenadas em coletores plásticos esterilizados, nas quais foram transportados imediatamente ao laboratório de microbiologia para análise.

Foram pesadas assepticamente 2,5g de cada amostra, transferida e homogeneizada em 22,5 ml de água peptonada a 1%, obtendo-se a diluição 10^{-1} . A partir dessa diluição, foram obtidas diluições seriadas até 10^{-6} , transferindo-se 1 mL da amostra para tubos contendo 9 mL de diluente. As amostras foram analisadas quanto a contagem de *Lactobacillus* spp. (ISO 20128|IDF 192:2006) e presença de *Salmonella* sp. (ISO 6579-1:2017en).

Para análise de *Lactobacillus*, 0,1 mL de cada diluição seriada foi transferida para placas de Petri contendo ágar MRS e utilizando a técnica de plaqueamento de superfície (spread plate), o inóculo foi semeado com o uso de alça de Drygalsky. As placas foram incubadas à 37°C por 24 horas e então feita a contagem das colônias características de *Lactobacillus*, geralmente pequenas, redondas, opacas, brancas ou amareladas. Para confirmação, foi realizada a coloração Gram e identificação por microscopia.

Na pesquisa de *Salmonella* sp., a primeira diluição da água peptonada foi incubada à 37°C por 24 horas. Foi realizado o enriquecimento pela transferência 0,1 mL da diluição para o caldo Rappaport Vassiliadis, incubados a 37°C por 24 horas. Então, dos caldos de enriquecimento seletivo, as amostras foram semeadas em placas contendo Ágar XLD (Xilose-Lisina-Desoxicolato) e Ágar HE (Hecktoen Enteric) e incubadas a 37°C durante 24 horas. Após esse período, foram observados as características e o aspecto das colônias típicas de *Salmonella*, geralmente translúcidas com centro escurecido devido à produção de H_2S .

2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram avaliados em média de cada parâmetro analisado e submetidos à análise de variância e as comparações de média realizada pelo teste Tukey com nível de significância de 5%, utilizando o programa estatístico InStat Graphpad®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando desempenho zootécnico das poedeiras, os índices de peso médio das aves e peso do ovo não tiveram diferenças significativas ($p>0,05$) entre os tratamentos sem ou com a inclusão de níveis crescentes do óleo de cravo na dieta (Tabela 1). Porém, as aves do tratamento com 300 mg/kg de eugenol consumiram menos ração (105,3g) de forma significativa em relação as aves que não consumiram o óleo de cravo e as que consumiram o nível de 100 mg/kg. O consumo menor de ração do tratamento com o nível de 300 mg/kg de óleo de cravo foi refletido na melhor conversão alimentar de 1,804, menor em relação a todos os tratamentos. Estes resultados indicaram um melhor desempenho e eficiência alimentar das aves ocorreu com a dietas contendo maior nível de inclusão do composto (Tabela 1).

Tabela 1 - Desempenho e produção de ovos de galinhas poedeiras submetidas a dietas suplementadas com óleo de cravo

Parâmetros de avaliação	Níveis de óleo de cravo na dieta (mg/kg)			
	0	100	200	300
Peso corporal (g)	1711 ^a	1716 ^a	1748 ^a	1732 ^a
Consumo de ração (g)	111,4 ^a	110,5 ^a	108,3 ^{ab}	105,3 ^b
Produção de ovos (%)	89,74 ^{ab}	88,35 ^a	92,78 ^{ab}	93,43 ^b
Peso do ovo (g)	58,06 ^a	58,81 ^a	58,20 ^a	58,60 ^a
Conversão Alimentar	1,914 ^a	1,890 ^{ab}	1,874 ^{ab}	1,804 ^b

*Médias com letras diferentes na mesma linha indicam significância estatística no teste de Tukey ($p<0.05$).

Fonte: Autoria própria.

A conversão alimentar é um parâmetro que mede a eficiência das galinhas em transformar o alimento em peso de ovo, servindo como um importante indicador no desempenho zootécnico, pois influenciam nos custos de produção e lucratividade. Resultados de melhor conversão alimentar de poedeiras suplementadas com óleo de cravo foram encontrados por Sehitoğlu e Kaya et al. (2021), que verificaram que os níveis crescentes de 50 a 150 mg/kg de adição de óleo de cravo à dieta melhoraram linearmente a conversão

alimentar. Outro estudo realizado por Ghanima et al. (2020) com uso de poedeiras em sistema livres de gaiolas encontraram menor consumo de ração e menor taxa de conversão alimentar em grupos de aves suplementadas com 300 mg/kg de óleo de cravo à dieta.

Os efeitos dos componentes do óleo de cravo usados em dietas de aves sob a conversão alimentar estão relacionados a capacidade de levar a estimulação enzimática, melhorando a digestão e a absorção de nutrientes (Orzuna- Orzuna; Lara-Bueno *et al.*, 2023; Sehitoğlu; Kaya *et al.*, 2021). Outro mecanismo fisiológico atribuído ao óleo de cravo é seus efeitos sobre a microbiota intestinal, propiciando a estabilidade do ecossistema da microflora intestinal por inibir microrganismos patogênicos, condições que fortalecem a barreira mucosa intestinal e a maior utilização de nutrientes (Zhao *et al.*, 2022).

Sobre o parâmetro de produção de ovos, o grupo de poedeiras suplementadas com maior nível de óleo de cravo (300 mg/kg) apresentou maior taxa de produção de ovos (93,43%) quando comparado ao grupo sem à adição (controle) e menor suplementação do óleo (100 mg/kg). O aumento linear na produção de ovos em poedeiras alimentadas com óleo de cravo e seus componentes foram encontrados em outros estudos (Gandomani *et al.*, 2014; Ghanima *et al.*, 2020; Sehitoğlu; Kaya *et al.*, 2021), corroborando com a hipótese de que a adição de maiores concentrações do óleo de cravo na dieta pode ter melhores efeitos nas funções dos ovários e na digestibilidade dos nutrientes no intestino.

Tabela 2 - Médias da contagem microbiana em fezes do tipo cecal de poedeiras alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de óleo de cravo

Níveis de eugenol	População bacteriana (UFC/g)	
	<i>Lactobacillus</i> sp.	<i>Salmonella</i> sp.
0 mg/kg	7,2 x 10 ⁶	Indetectável
100 mg/kg	1,8 x 10 ⁶	Indetectável
200 mg/kg	4,0 x 10 ⁶	Indetectável
300 mg/kg	6,5 x 10 ⁶	Indetectável

UFC/g: Unidades Formadoras de colônias por grama da amostra. Não houve diferença significativa entre os grupos pelo teste de Tukey (p > 0.05)

Fonte: Autoria própria.

Os resultados da análise microbiológica das fezes cecais dos grupos de aves demonstraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos contendo os diferentes níveis de óleo de cravo sob a contagem bacteriana de *Lactobacillus* sp. e *Salmonella* sp. (Tabela 2).

Em alguns estudos em frangos, os resultados no padrão da população bacteriana foram diferentes a este estudo. O uso de concentrações de 100 a 600 mg/kg de óleo essencial de cravo na dieta de frangos de corte foram capazes de aumentar linearmente a população intestinal de *Lactobacillus* sp. (Elbaz *et al.*, 2022; Mohammadi ; Ghazanfari; Moradi, 2014).

O gênero *Lactobacillus* pertence ao filo Firmicutes, que é considerado um dos mais abundantes na microflora intestinal, ajudando a digestão da celulose no intestino e produzindo ácidos graxos de cadeia curta que atendem as necessidades nutricionais e energéticas dos animais (Yang *et al.*, 2018). Em poedeiras, apesar de estudos demonstrarem o aumento de Firmicutes com a suplementação de óleos essenciais na dieta, os gêneros bacterianos mais encontrados não são necessariamente *Lactobacillus*. Xia *et al.* (2022) encontraram o aumento considerado de Firmicutes no conteúdo cecal de poedeiras suplementadas com 300 mg/kg de óleos essenciais na dieta por 8 semanas, porém sem diferenças quanto ao gênero *Lactobacillus*. Dessa forma, o uso mais prolongado de óleo de cravo pode modular positivamente a microbiota intestinal das aves poedeiras, favorecendo o desenvolvimento de outros gêneros bacterianos importantes o equilíbrio da microflora benéfica do intestino.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação de óleo de cravo em dietas de poedeiras comerciais na primeira fase da postura possui efeitos de melhorar o desempenho das aves e a produção de ovos em sistemas de criação livres de gaiola. Há uma tendência de melhor conversão alimentar e eficiência das galinhas com a concentração de 300 mg/kg de eugenol na dieta.

Sugere-se um período mais prolongado de aplicação do óleo de cravo em galinhas de postura em sistemas de gaiolas para averiguação de seus efeitos na microbiota fecal.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual 2025. Disponível em: https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2024/04/ABPA-Relatorio-Anual-2024_capa_frango.pdf. Acesso em: 15 de julho de 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. Portaria Nº 110, de 14 de novembro de 2020. Lista de matérias-primas aprovadas como ingredientes, aditivos e veículos para uso na alimentação animal.
- DA SILVA, Dayane Albuquerque et al. Uso de aditivos equilibradores de microbiota na alimentação de aves comerciais: Revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e40410716633-e40410716633, 2021.
- DE PAULA, Patrícia Dayane.; MOREIRA, Joerley; ALMEIDA, Alexander Alexandre de; VALENTIM Jean Kaique. Sistema *cage-free* na avicultura brasileira: Produtividade e tendências da indústria. **Vet. e Zootec.** V.32, p. 1-14, 2025.
- EFSA. European Food Safety Authority. Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). Efficacy of Liderfeed® (eugenol) for chickens for fattening. *EJ Journal EFSA*, 2017. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4931.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura. Contribution of terrestrial animal source food to healthy diets for improved nutrition and health outcomes. Roma, 2023. 293p. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc3912en> Acesso em 20 de junho de 2025.
- KHALIL, Anees Ahmed; RAHMAN, Ubaid Ur; KHAN, Moazzam Rafiq, SAHAR, Amna; MEHMOOD, Tariq; KHAN, Muneeb. Essential oil eugenol: sources, extraction techniques and nutraceutical perspectives. **RSC Adv.**, v. 7, p. 32669–32681, 2017.
- FARIAS, Allamy Jorge Luciano Fernandes de; BRANDÃO, Patrícia Araújo; SOUZA, Vitor José Barros Leão de; SILVA, Helter; Torres Silva; SOUZA, Bonifácio Benício de. Os sistemas de criação de aves de postura no Brasil e o bem-estar animal. **Observatório de la economía latinoamericana**. V. 21, n.12, p. 26534-26564, 2023.
- GANDOMANI, V. Taheri.; MAHDAVI, Amir Hossein.; RAHMANI, Hamidreza; RIASI, Ahmad; JAHANIAN, E. Effects of different levels of clove bud (*Syzygium aromaticum*) on performance, intestinal microbial colonization, jejunal morphology, and immunocompetence of laying hens fed different n-6 to n-3 ratios, **Livestock Science**, v. 167, p. 236-248, 2014.
- GHANIMA, Mahmoud M. Abo; Alagawany, Mahmoud; EL-HACK, Mohamed E. Abd; TAHA, Ayman, ELNESR, Shaaban S., AJAREM, Jamaan, ALLAM, Ahmed A., MAHMOU, Ayman M. Consequences of various housing systems and dietary supplementation of thymol,

- carvacrol, and eugenol on performance, egg quality, blood chemistry, and antioxidant parameters, **Poultry Science**, Volume 99, Issue 9, 2020.
- MOHAMMADI, Zaedi.; GHAZANFARI, Shokoufe; Moradi, M. Adib. Effect of supplementing clove essential oil to the diet on microflora population, intestinal morphology, blood parameters and performance of broilers, **European Poultry Science**, v. 78, p.1-11, 2014.
- ORZUNA-ORZUNA, José Felipe; LARA-BUENO, Alejandro. Essential oils as a dietary additive for laying hens: performance, egg quality, antioxidant status, and intestinal morphology: a meta-analysis. **Agriculture**, v. 13, n. 7, p. 1294, 2023.
- RÉHAULT-GODBERT, Sophie, GUYOT, Nicolas; NYS, Yves. The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. **Nutrients**, v.11, n.3, p. 684, 2019.
- ŞEHİTOĞLU, Melek.; KAYA, Hatice. The Effect of Clove Oil Supplementation in Laying Hen Diets on Performance, Egg Quality, Some Blood Parameters, and Yolk TBARS. Turkish Journal of Agriculture - **Food Science and Technology**, [S. l.], v. 9, n. 12, p. 2213–2218, 2021.
- XIAO, Gengsheng.; ZHENG, Liwei; YAN, Xia.; GONG, Li; YANG, Yang.; QI, Qien.; ZHANG, Xiangbin; ZHANG, Huihua. Effects of Dietary Essential Oils Supplementation on Egg Quality, Biochemical Parameters, and Gut Microbiota of Late-Laying Hens. **Animals**, v. 12, p.2561. 2022.
- ZHAO, Xin, ZHENG, ShuMei; WEI, SiMin; TIAN, QiMing; TAO, Ya; BO, RuaNan; LIU, MingJiang; Li, JinGui. The protective effect and potential mechanisms of eugenol against Salmonella in vivo and in vitro. **Poultry Science**, v. 101, n. 5, p. 101801, 2022.
- YANG, Hua; XIAO, Yingping; GUI, Guohong.; LI, Jinjun.; WANG, Jianhong.; LI, Defa. Microbial community and short-chain fatty acid profile in gastrointestinal tract of goose. **Poultry Science**, 97, 1420–1428, 2018.

CAPÍTULO XXIV

USO DE RESÍDUOS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL: EXPERIÊNCIAS GLOBAIS, POTENCIAL AMAZÔNICO E PRINCIPAIS DESAFIOS

USING RESIDUES FOR FOREST RESTORATION: GLOBAL EXPERIENCES, AMAZONIAN POTENTIAL, AND KEY CHALLENGES

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-24

Julia Isabella de Matos Rodrigues¹

Walmer Bruno Rocha Martins²

Marcos Alexandre Vieira Nascimento Filho⁵

José Rozendo de Lima Silva⁴

Hiago Felipe Cardoso Pacheco³

Lucas Lopes da Silva⁵

Francisco de Assis Oliveira²

¹ Doutoranda em Ciências Florestais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

² Professor Adjunto do Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

³ Doutorando em Ciências Florestais. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal de Viçosa – UFV

⁴ Mestrando em Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

⁵ Graduando no curso de Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

RESUMO

Considerando a produção excessiva de resíduos agroflorestais e a implementação de metas e acordos internacionais voltados à restauração florestal, é crucial desenvolver estratégias que integrem o uso desses resíduos às práticas de reflorestamento. Este estudo, por meio de uma revisão bibliográfica, compilou informações sobre o uso de resíduos na restauração de ecossistemas degradados em todo o mundo, destacando também a alta produção de resíduos agroflorestais de espécies comercializadas na Amazônia, que podem ser utilizados na restauração deste bioma, proporcionando melhorias significativas nas propriedades do solo e, conseqüentemente, no estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Dentre os resíduos utilizados, destacam-se os resíduos orgânicos, como folhas, galhos, frutas e cascas de árvores. Além disso, é evidente o potencial de aproveitamento de resíduos na Amazônia, onde apenas seis espécies comerciais geraram aproximadamente 868.723,06 toneladas de resíduos em 2021. Porém, há desafios a serem superados, como a falta de pesquisas em áreas

degradadas pela agricultura, a alto custo de transporte de resíduos e falta de cadeias produtivas formalizadas, o que pode dificultar o aproveitamento dos resíduos na restauração florestal. É urgente desenvolver estratégias para superar estes obstáculos.

Palavras-chave: Detritos agroflorestais. Restauração ambiental. Reflorestamento. Amazônia.

ABSTRACT

Considering the excessive production of agroforestry residues and the implementation of international goals and agreements aimed at forest restoration, it is crucial to develop strategies that integrate the use of these residues with reforestation practices. This study, through a bibliographic review, compiled information on the use of residues in the restoration of degraded ecosystems globally, also highlighting the high production of agroforestry residues from commercially traded species in the Amazon, which can be used in the restoration of this biome,



providing significant improvements in soil properties and, consequently, in the establishment and development of plants. Among the residues used, organic residues, such as leaves, branches, and fruit and tree bark, stand out. In addition, the potential for waste utilization in the Amazon is evident, where only six commercial species generated approximately 868,723.06 tons of residues in 2021. However, there are challenges to

be overcome, such as the lack of research in areas degraded by agriculture, the high cost of waste transportation, and the lack of formalized production chains, which can make it difficult to use residues in forest restoration. It is urgent to develop strategies to overcome these obstacles.

Keywords: Agroforestry debris. Environmental restoration. Reforestation. Amazonia.

1. INTRODUÇÃO

Uma preocupação diretamente associada ao crescimento populacional é o aumento da demanda por alimentos e, conseqüentemente, da produção de resíduos agroflorestais que, quando descartados de forma incorreta, causam impactos negativos aos ecossistemas, como a contaminação do solo, do ar e da água (YISHUI et al., 2021). O aproveitamento desses resíduos é necessário para minimizar efeitos danosos aos ecossistemas naturais e também para gerar renda, podendo alcançar US\$ 25,32 bilhões por ano com a produção de bioenergia (GUPTA et al., 2022). Esse modelo econômico, intitulado “economia circular”, visa preservar e ampliar o capital natural, otimizando o uso de recursos e minimizando riscos sistêmicos, ao considerar a gestão de recursos finitos (CNI, 2018). No contexto das mudanças climáticas, do desmatamento e da degradação florestal, vêm sendo implementadas medidas para promover a restauração de ecossistemas naturais (ARMENTERAS et al., 2019), especialmente para otimizar o uso do solo (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016; OLIVEIRA et al., 2023). Para isso, incentiva-se o uso de resíduos, pois eles proporcionam diversos benefícios edáficos, como proteção contra erosão, aumento da porosidade e da infiltração, e maior disponibilidade de cátions básicos e nutrientes especialmente nitrogênio e fósforo, além de favorecerem o desenvolvimento da macro, meso e microfauna do solo (AMOA-ANTWI et al., 2020; SOUZA et al., 2021).

Diferentes estratégias têm sido utilizadas para o uso de resíduos por meio da sua distribuição na área a ser restaurada, seja por aplicação direta ou incorporação ao solo (Ribeiro et al., 2021), ou pela transformação em biochar (carvão vegetal pirolítico), via pirólise lenta (PENIDO et al., 2019; ROMÁN-DAÑOBEYTIA et al., 2021). Na Amazônia, a ampla biodiversidade especialmente a arbórea, estimada em mais de 16.000 espécies (TER STEEGE et al., 2020). Intensifica o potencial do bioma para o aproveitamento de resíduos, considerando que produtos nativos amplamente comercializados, como o açaí (*Euterpe sp.*) e a castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl), podem gerar mais de 70% de resíduos em

massa (VILALBA; MARSAIOLI JR.; PEZOA GARCIA, 2004). Assim, nesta revisão, buscamos compilar informações sobre o uso de resíduos na restauração de ecossistemas degradados em escala mundial. Além disso, demonstramos que a Amazônia apresenta alta produção de resíduos agroflorestais oriundos de espécies comercializadas que podem ser utilizados na restauração do bioma. Com base nisso, listamos fatores limitantes ao uso de resíduos em contextos de restauração.

2. RESÍDUOS AGROFLORESTAIS: PRINCIPAIS PROBLEMAS E USOS POTENCIAIS

A produção agrícola mundial tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas devido ao crescimento populacional e, conseqüentemente, à maior demanda por alimentos, provocando o avanço da fronteira agrícola e o aumento da pressão sobre recursos naturais como solo, água e atmosfera (HORION et al., 2016; SPERA et al., 2016). O arroz, por exemplo, é consumido por aproximadamente 40% da população mundial (EL-SAIED et al., 2012) e, no Brasil, somente o estado de Santa Catarina produz anualmente 1,25 milhão de toneladas, correspondendo a 11% da produção nacional (TORESAN et al., 2022). Em todo o mundo, a comercialização agroflorestal gerou US\$ 617,5 bilhões incluindo frutas, produtos de biomassa, produtos madeireiros e não madeireiros em 2021 (Tabela 1). No Brasil, a área destinada ao cultivo de mudas de *Theobroma cacao* L. (cacaueiro) superou 590.000 hectares em 2017, sendo Bahia e Pará os estados com maior área produtiva (FAO, 2019). Entretanto, os produtos agroflorestais geram quantidades excessivas de resíduos; na China, por exemplo, a produção anual de resíduos agrícolas e florestais superou 3 bilhões de toneladas (YISHUI et al., 2021). Isso ocorre porque a agroindústria geralmente processa frutos e/ou grãos (GUPTA et al., 2022). No caso de *T. cacao*, a maior parte da produção destina-se ao chocolate e à polpa, gerando até 120 kg de resíduos por tonelada de amêndoas (SILVA et al., 2015); já o arroz produz cascas que podem representar até 22% do seu peso bruto (DELLA; KÜHN; HOTZA, 2001).

Tabela 1. Valor arrecadado mundialmente com as exportações de produtos agroflorestais em 2021.

Products	Description	Total revenue (US\$)
Vegetables	Vegetables, roots, tubers, fruits, nuts, fruit peel	229 billion
Bioproducts (animals and vegetables)	Lipids, oils, animals and vegetable waxes	168 billion
Forests	Bulbs, cut flowers, ornamental foliage, sawn wood, unprocessed wood, plywood, carpentry, and panels	220.5 billion
Total	-	617.5 billion

Fonte: (OEC, 2023)

À luz dos problemas causados por perdas excessivas e por uma gestão insuficiente dos resíduos, o fortalecimento da economia circular surge como alternativa para incentivar o reúso, caracterizando-os como matéria-prima em vez de lixo (MUJTABA et al., 2023). As discussões sobre usos alternativos enfatizam o potencial bioeconômico (GUPTA et al., 2022), por meio de bioprodutos, além do uso em biorrefinarias para produção de bioetanol (GASPAR et al., 2019; HALDER et al., 2019; KRIGER et al., 2020) e biocombustíveis (KIEHBADROUDINEZHAD; MERABET; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, 2023). No Brasil, para produção de painéis MDP a partir de *Pinus sp.*, o uso de casca de *T. cacao* reduziu o consumo de madeira em até 21%, otimizando a produção em plantações florestais (VELOSO et al., 2020).

3. USO DE RESÍDUOS COMO ESTRATÉGIA PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL

As metas e acordos estabelecidos em âmbito global para reduzir taxas de desmatamento (ROE et al., 2019; SILVA et al., 2017), combinados ao fortalecimento da economia circular, destacam o potencial do uso de resíduos para otimizar a restauração de ecossistemas degradados por diferentes atividades antrópicas (Tabela 2). Os resíduos podem ser classificados pela sua origem: resíduos orgânicos derivam de recursos vegetais e/ou animais (por exemplo, cascas de árvores e frutos, folhas, esterco, serragem); resíduos inorgânicos compreendem materiais não biológicos (por exemplo, resíduos minerais). No contexto da restauração, diferentes combinações têm sido utilizadas, incluindo o uso concomitante de resíduos orgânicos e inorgânicos.

Tabela 2. Resíduos orgânicos e inorgânicos podem ser utilizados para otimizar a restauração de ecossistemas degradados e/ou alterados por diferentes atividades humanas.

Activities	Description	Residue(s) used(s)	Type of residue	Country	Source
Mining	Kaolin	Sawdust + cow manure	Organic	Brazil	1
	Rare earth soil	Rice peel	Organic	China	2
	Clay	Sewage sludge	Organic	Brazil	3
		Forestry	Organic	Brazil	4
	Bauxite	Bauxite mining	Inorganic	Brazil	5
	Limestone	Limestone mining + chicken manure	Inorganic + Organic	Brazil	6
		Poultry litter	Organic	Brazil	7
	Coal	Rice processing + coal residues + poultry manure + synthetic plaster	Organic + Inorganic	Brazil	8
		Gravel	Sewage sludge	Organic	Brazil
	Cassiterite	Compost of sawdust + cow manure	Organic	Brazil	10
Gold	Biochar of <i>Bertolletia excelsa</i> Cow manure	Organic	Peru	11	
		Organic	Brazil	12	
Urban subdivision	-	Shredded urban forestry	Organic	Brazil	13
Agriculture	-	Forestry residue of <i>Pinus</i> sp. with sawdust	Organic	Poland	14
		Forestry (biochar)	Organic	California	15
		<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Organic	Spain	16
Uninformed		Forestry harvest	Organic	Finland	17
Forest fire	-	<i>Eucalyptus</i> sp. peel	Organic	Portugal	18
		Straw and wood	Organic	Spain	19
Livestock	-	Orange peel	Organic	Costa Rica	20
		Human sewage	Organic	Australia	21

Fonte: Note: 1 = Ribeiro et al. (2021); 2 = Liu et al. (2022); 3 = Corrêa and Bento, 2010); 4 = Toso et al. (2020); 5 = Caproni et al. (2007); 6 = Ruiz et al. (2020); 7 = Lunardi Neto et al. (2008); 8 = Zocche et al. (2023); 9 = Balduino et al. (2019); 10 = Longo et al. (2011); 11 = Román-Dañobeytia et al. (2021); 12 = Assis et al. (2011); 13 = Marcuzzo et al. (2013); 14 = Sławski et al. (2020); 15 = Sessions et al. (2019); 16 = Hueso-González et al. (2018); 17 = Toivanen et al. (2009); 18 = Machado et al. (2022); 19 = Ortega et al. (2023); 20 = Treuer et al. (2018); 21 = Spargo and Doley, 2016).

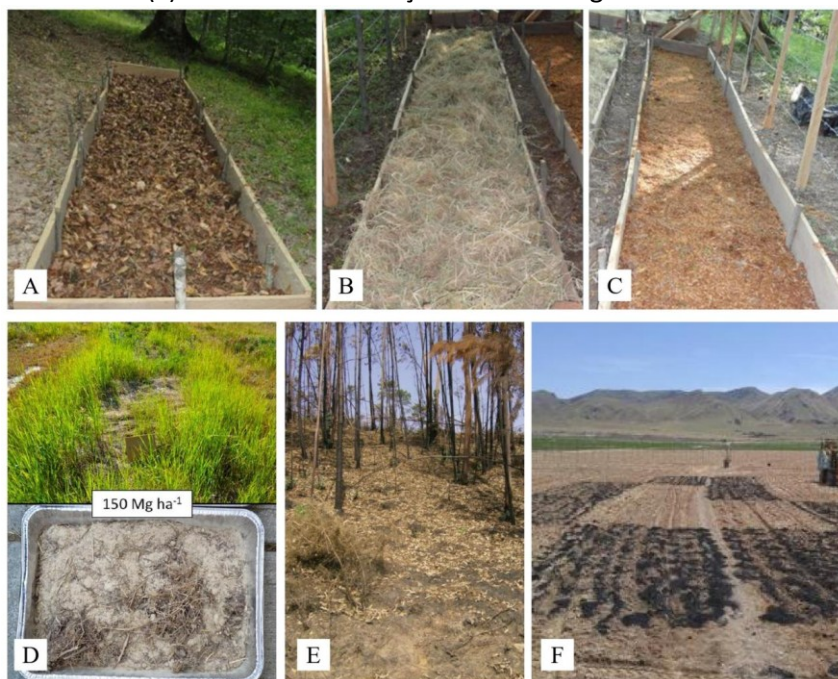
Combinando espécies vegetais tolerantes às condições do solo com o uso concomitante de resíduos orgânicos (casca de arroz, esterco de frango e fertilizante bacteriano) e inorgânicos (rejeitos da mineração de carvão e gesso sintético), obteve-se a redução superior a 60% dos teores disponíveis de chumbo e cádmio, bem como aumento da sobrevivência de mudas em áreas degradadas pela mineração de carvão (LIU et al., 2022). Ao comparar Tecossolos de diferentes idades, verificou-se que o uso de rejeitos da mineração de calcário em combinação com esterco de galinha foi capaz de recuperar funções básicas do solo dentro de 20 anos após a mineração (RUIZ; CHERUBIN; FERREIRA, 2020).

Atualmente, resíduos orgânicos são o material mais comum na restauração ecológica, em detrimento dos inorgânicos. Isso porque os orgânicos se decompõem gradualmente, liberando nutrientes e favorecendo o retorno de processos funcionais como a ciclagem de nutrientes, atuando como fertilizantes naturais (HU et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2018; PARTON; STEWART; COLE, 1988). Além disso, resíduos orgânicos possuem características químicas e físicas distintas e podem ser processados para alimentação animal, como ocorre com resíduos agrícolas de frutas e verduras (KUMAR et al., 2022; ROJAS; ZAPATA; RUIZ-TIRADO, 2022; SAHOO et al., 2021). Produtos como bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, palha de arroz e palha de trigo podem ser obtidos a baixo custo e apresentam potencial para fabricação de bioetanol (PRASAD et al., 2020; TAJMIRRIHI; MOMAYEZ; KARIMI, 2021). Em áreas degradadas pela mineração, resíduos orgânicos podem otimizar o tempo de restauração, remediando solos contaminados por metais pesados (HU et al., 2021) e sendo empregados no preenchimento de covas para plantio de mudas (GASTAUER et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2023; RIBEIRO et al., 2021) ou formando núcleos de restauração (BARBOSA et al., 2022; MARCUZZO et al., 2013). Por exemplo, na restauração de uma área agrícola no nordeste da Polônia, o uso de casca de pinus e serragem favoreceu atributos do solo, como aumento do carbono orgânico total, da relação C/N e da capacidade de troca catiônica (SŁAWSKI; TARABUŁA; SŁAWSKA, 2020).

Embora resíduos agroflorestais sejam os mais usados e testados para restauração, resíduos urbanos também despontam como alternativa viável para a mesma finalidade. Quando manejados adequadamente, resíduos urbanos podem contribuir para a restauração de ecossistemas e promover a sustentabilidade — por exemplo, por meio da compostagem de restos de alimentos e resíduos de poda para produzir adubo orgânico (CARABASSA; DOMENE; ALCAÑIZ, 2020). Para a restauração de pastagens, além de casca de laranja (TREUER et al., 2018), resíduos humanos sólidos (SPARGO; DOLEY, 2016) foram testados na Austrália, com resultados positivos tanto para o aumento de biomassa lenhosa quanto para a diversidade da entomofauna do solo. Na França, Pruvost et al. (2020) demonstraram que resíduos urbanos provenientes de podas de árvores viárias podem ser utilizados para restaurar áreas alteradas pela urbanização, com benefícios municipais, como a redução de passivos ambientais da expansão urbana e baixo custo de obtenção dos resíduos.

Outra forma de utilizar resíduos urbanos é na forma de bio sólidos, passíveis de incorporação em substratos alternativos devido à riqueza em matéria orgânica, o que pode aumentar a fertilidade e a retenção de água do solo. Os bio sólidos também podem promover benefícios indiretos, como o aumento do crescimento arbóreo e, conseqüentemente, maior deposição de serapilheira no solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes (SANSEVERO et al., 2011). Independentemente dos resíduos selecionados, o processamento do material pode conferir diferentes características físicas e químicas e, portanto, usos distintos durante a restauração. Na maioria dos casos, não se realiza processamento prévio: as características originais são mantidas e os resíduos são distribuídos na área a ser restaurada (Figura 3), com o objetivo inicial de cobrir o solo para reduzir riscos de erosão e amortecer a ação de agentes climáticos (BARBOSA et al., 2022). Por outro lado, pesquisas sobre a produção de biochar material obtido por conversão termoquímica de resíduos orgânicos via pirólise a temperaturas acima de 350 °C (JAYAKUMAR et al., 2023) — têm avançado, com múltiplos propósitos, incluindo remediação e transporte de nutrientes no sistema solo-planta (KRISHNAMOORTHY et al., 2023).

Figura 1. Espalhamento de resíduos não processados (A-E) e processados para obtenção de biocarvão (F) visando a restauração de áreas degradadas.



Fonte: a - c) khoramizadeh et al., 2021; d) antonelli et al., 2018; e) navidi et al., 2022; f) usu, 2023.

4. POTENCIAL E EXPERIÊNCIAS DE USO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA

Com os estudos sobre propriedades alimentares e fitoterápicas, houve notável incremento nas exportações de produtos nativos amazônicos, como açaí e castanha-do-brasil (IBIAPINA et al., 2022). Paralelamente, a expansão de sistemas agroflorestais e o fomento ao extrativismo vegetal nas últimas décadas ampliaram a produção de resíduos, que podem alcançar até 140% do volume ou peso do produto (Tabela 3). A espécie exótica *Elaeis guineensis* Jacq. (dendê) também se destaca por sua adaptação às condições edafoclimáticas da Amazônia e integra a produção do estado do Pará (AMARANTE; BRAGA, 2021). O estado é ainda o segundo maior produtor de cacau do país, com 146.375 toneladas de amêndoas em 2021 (IBGE, 2023). Para os frutos de *Theobroma grandiflorum* Willd. ex Spreng (cupuaçu) espécie nativa amplamente utilizada na culinária, o principal resíduo são as sementes, que correspondem a cerca de 20% do peso do fruto (VILALBA; MARSAIOLI JR.; PEZOA GARCIA, 2004) e podem ser usadas para produzir biochar (LISBÔA et al., 2021). Resíduos do manejo florestal amazônico apresentam alto potencial para bioenergia, destacando-se espécies nativas como *Dinizia excelsa* Ducke, *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., *Protium altissimum* (Aubl.) Marchand e *Goupia glabra* Aubl., com características físico-químicas favoráveis a essa indústria (LIMA et al., 2020).

Tabela 3. Produção agroflorestal, com base em dados obtidos do IBGE (2023), e estimativa da produção de resíduos de seis espécies comercializadas na Amazônia em 2021.

Specie	Product	Production (tons)	Residues production (%)	Estimated amount of generated residues (tons)
<i>T. grandiflorum</i>	Cupuaçu	14,375	20 ^a	29,275.00
<i>T. cacao</i>	Cacau	152,473	12 ^b	18,296.76
<i>E. oleraceae</i>	Açaí	209,128	70 ^c	146,389.60
<i>B. excelsa</i>	Castanha do Brasil	31,592	140 ^d	44,228.80
<i>E. guineensis</i>	Dendê	2,848,285	22 ^e	626,622.70
<i>B. gasipaes</i>	Pupunha	5,586	70 ^f	39,10.20
Total	-	3,393,439	-	868,723.06

Fonte: a = Vilalba et al., 2004; b = Silva et al., 2015; c = Silva, 2017; d = Lobo, 2022; e = Furlan Junior, 2007 ; f = Magalhães et al., 2020.

Considerando apenas seis espécies que compõem a economia amazônica, suas respectivas produções em 2021 (IBGE, 2023) e as estimativas de resíduos da literatura (FURLAN JUNIOR, 2007; LOBO, 2022; MAGALHÃES et al., 2020; SILVA et al., 2015; SILVA, 2017; VILALBA; MARSAIOLI JR.; PEZOA GARCIA, 2004), estimou-se que aproximadamente 869 mil toneladas de resíduos foram geradas cerca de 25% da produção do ano avaliado (Tabela 3). Em geral, entende-se que resíduos amazônicos são matérias-primas importantes para produção de biochar, com alta capacidade de adsorção de cádmio e cobre (DIAS et al., 2019). Entretanto, embora o avanço do desmatamento por atividades econômicas evidencie a necessidade de estratégias de restauração, o uso de resíduos para restauração florestal na Amazônia ainda é incipiente, com poucas experiências restritas a áreas mineradas. Dentre essas, destacam-se a distribuição de resíduos não processados (BARBOSA et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023; RIBEIRO et al., 2021), o uso de resíduos inorgânicos (Caproni et al., 2007) e o uso de biochar (DIAS et al., 2019, 2022; ROMÁN-DAÑOBEYTIA et al., 2015).

Ribeiro et al. (2021) realizaram cobertura do solo com serragem na restauração de área degradada por mineração de caulim, observando aumento da saturação por bases e do teor de cálcio no solo. Oliveira et al. (2023) combinaram o plantio de mudas com o uso de resíduos de *Eucalyptus* sp. e fibra de coco, obtendo resultados positivos quanto a incrementos em diâmetro e altura, além de maior sobrevivência das plantas. Resíduo de bauxita pode também ser utilizado na restauração de áreas mineradas, por garantir maior densidade e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (CAPRONI et al., 2007). Biochar produzido a partir de resíduos agroflorestais de castanha-do-brasil melhorou a sobrevivência de espécies com diferentes densidades de madeira e favoreceu o crescimento em diâmetro e altura de espécies de média e baixa densidade (ROMÁN-DAÑOBEYTIA et al., 2021). Dias et al. (2022), ao testar biochar de resíduos de dendê, açaí e castanha em áreas degradadas por garimpo de ouro, demonstraram a capacidade do biochar de dendê em mitigar a biodisponibilidade de arsênio.

5. CONCLUSÕES E LIMITAÇÕES DO USO DE RESÍDUOS NA RESTAURAÇÃO GRADECIMENTOS

Diante do aumento contínuo da produção de resíduos e da comprovada capacidade de otimizar processos de restauração, é essencial conciliar estratégias de uso alternativo com práticas de restauração, pois os benefícios incluem a recuperação de estrutura, composição de espécies e, sobretudo, de funções ecossistêmicas. Ainda assim, persistem limitações

importantes: a pesquisa segue majoritariamente focada em áreas pós-mineração, indicando a necessidade de ampliar estudos para cenários degradados por pecuária e agricultura (BARBOSA et al., 2022; DIAS et al., 2019, 2022; OLIVEIRA et al., 2023; RIBEIRO et al., 2021); o transporte dos resíduos pode tornar sua aplicação inviável ou pouco atrativa devido ao custo elevado, que pode chegar a US\$ 23.291,64 por hectare (GUPTA et al., 2022; ZOCHE et al., 2023); faltam informações sobre a temperatura ideal de produção de biochar para cada tipo de resíduo (DIAS et al., 2019); e, na Amazônia, a informalidade das cadeias produtivas especialmente as agroextrativistas restringe o uso e a diversificação desses materiais, exigindo iniciativas governamentais urgentes.

REFERÊNCIAS

- Adhikari, K.; Hartemink, A. E. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101–111, jan. 2016.
- Amarante, M. C. A. de; Braga, A. R. C. Biofuels and Oils from Amazon Crops: Challenges and Opportunities for the Sustainable Use of Biodiversity Resources. **Industrial Biotechnology**, v. 17, n. 4, p. 204–213, 1 ago. 2021.
- Amoah-Antwi, C.; Kwiatkowska-Malina, J.; Thornton, S. F.; Fenton, O.; Malina, G.; Szara, E. Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review. **Science of The Total Environment**, v. 722, p. 137852, jun. 2020.
- Antonelli, P. M.; Fraser, L. H.; Gardner, W. C.; Broersma, K.; Karakatsoulis, J.; Phillips, M. E. Long term carbon sequestration potential of biosolids-amended copper and molybdenum mine tailings following mine site reclamation. **Ecological Engineering**, v. 117, p. 38–49, jul. 2018.
- Armenteras, D.; Murcia, U.; González, T. M.; Barón, O. J.; Arias, J. E. Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. **Global Ecology and Conservation**, v. 17, p. e00567, jan. 2019.
- Assis, I. R. de; Dias, L. E.; Abrahão, W. A. P.; Ribeiro Jr, E. S.; Mello, J. W. V. de. Cover layers to the growth of trees and shrubs over a sulfide spoil from gold mining. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 941–947, ago. 2011.
- Balduino, A.; Corrêa, R.; Munhoz, C. B. R.; Chacon, R.; Pinto, J. R. R. Edaphic Filters and Plant Colonization in a Mine Revegetated with Sewage Sludge. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.
- Barbosa, R. de S.; Vale, R. S. do; Schwartz, G.; Martins, W. B. R.; Ribeiro, S. S.; Rodrigues, J. I. de. M.; Ferreira, G. C.; Barbosa, V. M. Restoration of degraded areas after bauxite mining in the eastern Amazon: Which method to apply? **Ecological Engineering**, v. 180, n. March, p. 106639, jul. 2022.

- Caproni, A. L.; Franco, A. A.; Granha, J. R. D. de O.; Souchie, E. L. Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 1, p. 99–106, mar. 2007.
- Carabassa, V.; Domene, X.; Alcañiz, J. M. Soil restoration using compost-like-outputs and digestates from non-source-separated urban waste as organic amendments: Limitations and opportunities. **Journal of Environmental Management**, v. 255, p. 109909, fev. 2020.
- CNI, C. N. DA I. **Economia Circular, Oportunidade e Desafios para Indústria Brasileira**. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2018/4/economia-circular-oportunidades-e-desafios-para-industria-brasileira/>>.
- Corrêa, R. S.; Bento, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1435–1443, ago. 2010.
- Della, V. P.; Kühn, I.; Hotza, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, dez. 2001.
- Dias, Y. N.; Souza, E. S.; Da Costa, H. S. C.; Melo, L. C. A.; Penido, E. S.; Do Amarante, C. B.; Teixeira, O. M. M.; Fernandes, A. R. Biochar produced from Amazonian agro-industrial wastes: properties and adsorbent potential of Cd²⁺ and Cu²⁺. **Biochar**, v. 1, n. 4, p. 389–400, 16 dez. 2019.
- Dias, Y. N.; Pereira, W. V. da S.; Costa, M. V. da; Souza, E. S. de; Ramos, S. J.; Amarante, C. B. do; Campos, W. E. O.; Fernandes, A. R. Biochar mitigates bioavailability and environmental risks of arsenic in gold mining tailings from the eastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 311, p. 114840, jun. 2022.
- El-Saied, H.; Basta, A. H.; Hassanen, M. E.; Korte, H.; Helal, A. Behaviour of Rice-Byproducts and Optimizing the Conditions for Production of High Performance Natural Fiber Polymer Composites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 20, n. 3, p. 838–847, 24 set. 2012.
- FAO, F. AND A. O. OF THE U. N. **The State of Food and Agriculture: Moving Forward on Food Loss and waste reduction**. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>>. Acesso em: 14 maio. 2023.
- Furlan Junior, J. Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos. **Embrapa Amaz. Orient. Belém-PA**, v. 36, 2007.
- Gaspar, M. C.; Mendes, C. V. T.; Pinela, S. R.; Moreira, R.; Carvalho, M. G. V. S.; Quina, M. J.; Braga, M. E. M.; Portugal, A. T. Assessment of Agroforestry Residues: Their Potential within the Biorefinery Context. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 7, n. 20, p. 17154–17165, 21 out. 2019.

- Gastauer, M.; Sarmiento, P. S. de M.; Santos, V. C. A.; Caldeira, C. F.; Ramos, S. J.; Teodoro, G. S.; Siqueira, J. O. Vegetative functional traits guide plant species selection for initial mineland rehabilitation. **Ecological Engineering**, v. 148, n. February, p. 105763, abr. 2020.
- Gupta, J.; Kumari, M.; Mishra, A.; Swati; Akram, M.; Thakur, I. S. Agro-forestry waste management- A review. **Chemosphere**, v. 287, p. 132321, jan. 2022.
- Halder, P.; Azad, K.; Shah, S.; Sarker, E. Prospects and technological advancement of cellulosic bioethanol ecofuel production. In: **Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 211–236.
- Horion, S.; Prishchepov, A. V.; Verbesselt, J.; de Beurs, K.; Tagesson, T.; Fensholt, R. Revealing turning points in ecosystem functioning over the Northern Eurasian agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2801–2817, ago. 2016.
- Hu, X.; Huang, X.; Zhao, H.; Liu, F.; Wang, L.; Zhao, X.; Gao, P.; Li, X.; Ji, P. Possibility of using modified fly ash and organic fertilizers for remediation of heavy-metal-contaminated soils. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124713, fev. 2021.
- Hueso-González, P.; Martínez-Murillo, J. F.; Ruiz-Sinoga, J. D. Benefits of adding forestry clearance residues for the soil and vegetation of a Mediterranean mountain forest. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 796–804, fev. 2018.
- Ibiapina, A.; Gualberto, L. da S.; Dias, B. B.; Freitas, B. C. B.; Martins, G. A. de S.; Melo Filho, A. A. Essential and fixed oils from Amazonian fruits: proprieties and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 32, p. 8842–8854, 14 nov. 2022.
- Jayakumar, A.; Morrisset, D.; Koutsomarkos, V.; Wurzer, C.; Hadden, R. M.; Lawton, L.; Edwards, C.; Mašek, O. Systematic evaluation of pyrolysis processes and biochar quality in the operation of low-cost flame curtain pyrolysis kiln for sustainable biochar production. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 5, p. 100213, 2023.
- Khoramizadeh, A.; Jourgholami, M.; Jafari, M.; Venanzi, R.; Tavankar, F.; Picchio, R. Soil Restoration through the Application of Organic Mulch Following Skidding Operations Causing Vehicle Induced Compaction in the Hyrcanian Forests, Northern Iran. **Land**, v. 10, n. 10, p. 1060, 9 out. 2021.
- Kiehbadrudinezhad, M.; Merabet, A.; Hosseinzadeh-Bandbafha, H. A life cycle assessment perspective on biodiesel production from fish wastes for green microgrids in a circular bioeconomy. **Bioresource Technology Reports**, v. 21, p. 101303, fev. 2023.
- Kruger, O.; Budenkova, E.; Babich, O.; Suhii, S.; Patyukov, N.; Masyutin, Y.; Dolganuk, V.; Chupakhin, E. The Process of Producing Bioethanol from Delignified Cellulose Isolated from Plants of the Miscanthus Genus. **Bioengineering**, v. 7, n. 2, p. 61, 21 jun. 2020.
- Krishnamoorthy, N.; Nzediegwu, C.; Mao, X.; Zeng, H.; Paramasivan, B.; Chang, S. X. Biochar seeding properties affect struvite crystallization for soil application. **Soil & Environmental Health**, v. 1, n. 2, p. 100015, jun. 2023.

- Kumar, V.; Sharma, N.; Umesh, M.; Selvaraj, M.; Al-Shehri, B. M.; Chakraborty, P.; Duhan, L.; Sharma, S.; Pasrija, R.; Awasthi, M. K.; Lakkaboyana, S. R.; Andler, R.; Bhatnagar, A.; Maitra, S. S. Emerging challenges for the agro-industrial food waste utilization: A review on food waste biorefinery. **Bioresource Technology**, v. 362, p. 127790, out. 2022.
- Lima, M. D. R.; Patrício, E. P. S.; Barros Junior, U. de O.; Assis, M. R. de; Xavier, C. N.; Bufalino, L.; Trugilho, P. F.; Hein, P. R. G.; Protásio, T. de P. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, p. 105660, set. 2020.
- Lisbôa, F. M.; Freitas, S. de O.; Ramos, M. S.; Zamaí, M. A.; Zamaí, M. A. Characterization of biochar produced from shell of *Theobroma grandiflorum*. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 10, p. 50969–50993, 2021.
- Liu, J.; Zhang, S.; Li, E.; Zhu, Y.; Cai, H.; Xia, S.; Kong, C. Effects of cubic ecological restoration of mining wasteland and the preferred restoration scheme. **Science of The Total Environment**, v. 851, p. 158155, dez. 2022.
- Lobo, J. M. da C. de O. P. C. Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa Amazônica. **An. 4. Enc. Energ. Meio Rural**, 2022.
- Longo, R. M.; Ribeiro, A. Í.; Melo, W. J. de. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 139–146, 2011.
- Lunardi Neto, A.; Albuquerque, J. A.; Almeida, J. A. de; Mafra, Á. L.; Medeiros, J. C.; Alberton, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1379–1388, ago. 2008.
- Machado, A.; Serpa, D.; Santos, A. K.; Gomes, A. P.; Keizer, J. J.; Oliveira, B. R. F. Effects of different amendments on the quality of burnt eucalypt forest soils – A strategy for ecosystem rehabilitation. **Journal of Environmental Management**, v. 320, p. 115766, out. 2022.
- Magalhães, W. L. E.; Sá, F. P. de; Paula, C. R. P. de; Artner, M. A.; Arantes, M. S. T. Produção de compósitos a partir dos resíduos da agroindústria do palmito de pupunh. **Comunicado Técnico nº 461. Embrapa**, 2020.
- Marcuzzo, S. B.; Ganade, G.; Araújo, M. M.; Muniz, M. F. B. Comparação da eficácia de técnicas de nucleação para restauração de área degradada no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 39, 2013.
- Mujtaba, M.; Fraceto, L. F.; Fazeli, M.; Mukherjee, S.; Savassa, S. M.; Medeiros, G. A. de.; Pereira, A. E. S. do.; Mancini, S. D.; Lipponen, J.; Vilaplana, F. Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. **Journal of Cleaner Production**, v. 402, p. 136815, maio 2023.

- Navidi, M.; Lucas-Borja, M. E.; Plaza-Álvarez, P. A.; Carra, B. G.; Parhizkar, M.; Zema, D. A. Mid-Term Changes in Soil Properties after Wildfire, Straw Mulching and Salvage Logging in *Pinus halepensis* Mill. *Forests*. **Fire**, v. 5, n. 5, p. 158, 1 out. 2022.
- OECD, O. OF E. C. **Harmonized System (HS) Products**. Disponível em: <<https://oec.world/en/product-landing/hs>>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- Oliveira, F. R. A.; Souza, H. A. de; Carvalho, M. A. R. de.; Costa, M. C. G. Green fertilization with residues of leguminous trees for cultivating maize in degraded soil. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 4, p. 798–807, 2018.
- Oliveira, V. P.; Martins, W. B. R.; Rodrigues, J. I. de M.; Silva, A. R.; Lopes, J. do C. A.; Schwartz, G. Pit volume, soil cover and Eucalyptus forestry residues determine plant growth in restoring areas after gravel mining in eastern Amazon, Brazil. *New Forests*, 7 abr. 2023.
- Ortega, R.; Miralles, I.; Soria, R.; Rodríguez-Berbel, N.; Villafuerte, A. B.; Zema, D. A.; Lucas-Borja, M. E. Short-term effects of post-fire soil mulching with wheat straw and wood chips on the enzymatic activities in a Mediterranean pine forest. *Science of The Total Environment*, v. 857, p. 159489, jan. 2023.
- Parton, W. J.; Stewart, J. W. B.; Cole, C. V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*, v. 5, n. 1, p. 109–131, fev. 1988.
- Penido, E. S.; Martins, G. C.; Mendes, T. B. M.; Melo, L. C. A.; Guimarães, I. do. R.; Guilherme, L. R. G. Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 172, p. 326–333, maio 2019.
- Prasad, S.; Singh, A.; Korres, N. E.; Rathore, D.; Sevda, S.; Pant, D. Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective. *Bioresource Technology*, v. 303, p. 122964, maio 2020.
- Pruvost, C.; Mathieu, J.; Nunan, N.; Gigon, A.; Pando, A.; Lerch, T. Z.; Blouin, M. Tree growth and macrofauna colonization in Technosols constructed from recycled urban wastes. *Ecological Engineering*, v. 153, p. 105886, jun. 2020.
- Ribeiro, S. S.; Schwartz, G.; Silva, A. R.; Cruz, D. C. da.; Brasil Neto, A. B.; Gama, M. A. P.; Martins, W. B. R.; Barbosa, R. de S.; LOPES, J. do. C. A. Soil properties under different supplementary organic fertilizers in a restoration site after kaolin mining in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering*, v. 170, n. June, 2021.
- Roe, S.; Streck, C.; Obersteiner, M.; Frank, S.; Griscom, B.; Drouet, L.; Fricko, O.; Gusti, M.; Harris, N.; Hasegawa, T.; Hausfather, Z.; Havlík, P.; House, J.; Nabuurs, G. J.; Popp, A.; Sánchez, M. J. S.; Sanderman, J.; Smith, P.; Stehfest, E.; et al. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change*, v. 9, n. 11, p. 817–828, 2019.
- Rojas, L. F.; Zapata, P.; Ruiz-Tirado, L. Agro-industrial waste enzymes: Perspectives in circular economy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 34, p. 100585, abr. 2022.

- Román-Dañobeytia, F.; Huayllani, M.; Michi, A.; Ibarra, F.; Loayza-Muro, R.; Vázquez, T.; Rodríguez, L.; García, M. Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. **Ecological Engineering**, v. 85, p. 39–46, dez. 2015.
- Román-Dañobeytia, F.; Cabanillas, F.; Lefebvre, D.; Farfan, J.; Alferez, J.; Polo-Villanueva, F.; Llacsahuanga, J.; Vega, C. M.; Velasquez, M.; Corvera, R.; Condori, E.; Ascorra, C.; Fernandez, L. E.; Silman, M. R. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. **Ecological Engineering**, v. 159, p. 106097, jan. 2021.
- Ruiz, F.; Cherubin, M. R.; Ferreira, T. O. Soil quality assessment of constructed Technosols: Towards the validation of a promising strategy for land reclamation, waste management and the recovery of soil functions. **Journal of Environmental Management**, v. 276, p. 111344, dez. 2020.
- Sahoo, A.; Sarkar, S.; Lal, B.; Kumawat, P.; Sharma, S.; de, K. Utilization of fruit and vegetable waste as an alternative feed resource for sustainable and eco-friendly sheep farming. **Waste Management**, v. 128, p. 232–242, jun. 2021.
- Sansevero, J. B. B.; Prieto, P. V.; Moraes, L. F. de. D.; Rodrigues, P. J. P. Natural Regeneration in Plantations of Native Trees in Lowland Brazilian Atlantic Forest: Community Structure, Diversity, and Dispersal Syndromes. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 3, p. 379–389, maio 2011.
- Sessions, J.; Smith, D.; Trippe, K. M.; Fried, J. S.; Bailey, J. D.; Petitmermet, J. H.; Hollamon, W.; Phillips, C. L.; Campbell, J. D. Can biochar link forest restoration with commercial agriculture? **Biomass and Bioenergy**, v. 123, p. 175–185, abr. 2019.
- Silva, A. P. M.; Schweizer, D.; Marques, H. R.; Teixeira, A. M. C.; Santos, T. V. M. S.; Sambuichi, R. H. R.; Badari, C. G.; Gaudare, U.; Brancalion, P. H. S. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? **Restoration Ecology**, v. 25, n. 4, p. 509–515, 2017.
- Silva, R. B.; Fontes, C. M. A.; Lima, P. R. L.; Gomes, O. da F. M.; Lima, L. G. L. M.; Moura, R. C. de A.; Toledo Filho, R. D. Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 321–334, dez. 2015.
- Silva, T. O. M. **Compostos voláteis, perfil de aroma, de ácidos graxos e potencial antioxidante de óleo extraído por prensagem a frio de resíduo agroindustrial de açaí (Euterpe oleracea Mart.).** [s.l.] Universidade Federal de Sergipe, 2017.
- Sławski, M.; Tarabula, T.; Sławska, M. Does the enrichment of post-arable soil with organic matter stimulate forest ecosystem restoration—A view from the perspective of three decades after the afforestation of farmland. **Forest Ecology and Management**, v. 478, p. 118525, dez. 2020.
- Souza, L. L. P. de; Hamedani, S. R.; Lora, E. E. S.; Palacio, J. C. E.; Comodi, G.; Villarini, M.; Colantoni, A. Theoretical and technical assessment of agroforestry residue potential

- for electricity generation in Brazil towards 2050. **Energy Reports**, v. 7, p. 2574–2587, nov. 2021.
- Spargo, A.; Doley, D. Selective coal mine overburden treatment with topsoil and compost to optimise pasture or native vegetation establishment. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 342–350, nov. 2016.
- Tajmirriahi, M.; Momayez, F.; Karimi, K. The critical impact of rice straw extractives on biogas and bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 319, p. 124167, jan. 2021.
- Toivanen, T.; Liikanen, V.; Kotiaho, J. S. Effects of forest restoration treatments on the abundance of bark beetles in Norway spruce forests of southern Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 1, p. 117–125, jan. 2009.
- Toresan, L.; Padrão, G. de. A.; Goulart Junior, R.; Alves, J. R.; Mondardo, M. **Indicadores de desempenho da agropecuária e do agronegócio de Santa Catarina: 2020 e 2021**. Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Indicadores_Desempenho_Agronegocio_2021.pdf>.
- Toso, L. D.; Rovedder, A. P. M.; Hummel, R. B.; Peccatti, A.; Araújo, E. F. de.; Felker, R. M.; SILVA, J. C. C. da.; Neuenschwander, F. Fauna associated with brushwood transposition in a mining area in the South of Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 1–9, 2020.
- Treuer, T. L. H.; Choi, J. J.; Janzen, D. H.; Hallwachs, W.; Pérez-Aviles, D.; Dobson, A. P.; Powers, J. S.; Shanks, L. C.; Werden, L. K.; Wilcove, D. S. Low-cost agricultural waste accelerates tropical forest regeneration. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 2, p. 275–283, mar. 2018.
- Usu, U. U. **Biochar Impacts on Crop Yield and Soil Water Availability**. Disponível em: <<https://extension.usu.edu/crops/research/biochar-impacts-on-crop-yield-and-soil-water-availability>>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- Veloso, M. C. R. de A.; Pires, M. R.; Villela, L. S.; Scatolino, M. V.; Protásio, T. de P.; Mendes, L. M.; Guimarães Júnior, J. B. Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. **Waste Management**, v. 118, p. 36–44, dez. 2020.
- Vilalba, F. de A.; Marsaioli Junior, A.; Pezoa Garcia, N. H. Fragmentação mecânica de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 419–426, set. 2004.
- Yishui, T.; Ming, S.; Geng, K.; Linwei, M.; Si, S. Development Strategy of Biomass Economy in China. **Chinese Journal of Engineering Science**, v. 23, n. 1, p. 133, 2021.
- Zocche, J. J.; Sehn, L. M.; Pillon, J. G.; Schneider, C. H.; Olivo, E. F.; Raupp-Pereira, F. Technosols in coal mining areas: Viability of combined use of agro-industry waste and synthetic gypsum in the restoration of areas degraded. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 13, p. 100618, abr. 2023.

CAPÍTULO XXV

DIVERSIDADE DE FUNGOS ISOLADOS DE TOCOS DE EUCALIPTO DETERIORADOS

DIVERSITY OF FUNGI ISOLATED FROM DETERIORATED EUCALYPTS STUMPS

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-25

Luciana Ferreira da Silva¹

Juarez Benigno Paes²

Rodolpho Stephan Santos Braga³

Waldir Cintra de Jesus Junior⁴

Glaucileide Ferreira³

Nédia Pereira Correia Mendes Correia³

¹ Doutora em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

² Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

³ Doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

⁴ Professor Titular do Centro de Ciências da Natureza. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

RESUMO

O objetivo foi isolar, selecionar e quando possível, identificar (em nível de gênero) fungos com potencial de deteriorar tocos de madeiras de eucalipto. Amostras de lenho dos tocos da madeira em decomposição foram coletadas em três municípios com microclimas e altitudes diferentes. Das amostras foram produzidos fragmentos de aproximadamente 1,0 × 0,5 × 1,0 cm (radial x tangencial x longitudinal), para realizar o isolamento indireto e direto de fungos e a obtenção de culturas puras, sendo utilizado meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA). Nove culturas puras foram isoladas e classificadas, como pertencentes à Classe dos *Basidiomycetes*, apodrecedores de madeira, *Hyphomycetes* (*Trichoderma* e *Penicillium*) que são fungos manchadores ou de bolor na madeira e *Coelomycetes* (*Lasiodiplodia*), manchador. Os *Basidiomycetes* possuem potencial para a remoção biológica de tocos em plantações de eucalipto, bem como para o desenvolvimento de biotecnologia e utilização na silvicultura. Novos estudos nessa linha de pesquisa devem ser realizados, principalmente, ponderando sua viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chave: Madeira de eucalipto. Microrganismos xilófagos. Isolamento de fungos.

ABSTRACT

The objective was to isolate, select and, when possible, identify (at genus level) fungi with the potential to deteriorate eucalypts wood stumps. Wood samples from decomposing wood stumps were collected in three municipalities with different microclimates and altitudes. From the samples, fragments measuring approximately 1.0 × 0.5 × 1.0 cm (radial x tangential x longitudinal) were produced to carry out the indirect and direct isolation of fungi and obtain pure cultures, using Potato-Dextrose- Agar (PDA). Nine pure cultures were isolated and classified as belonging to the Class of *Basidiomycetes*, wood decay, *Hyphomycetes* (*Trichoderma* and *Penicillium*) and *Coelomycetes* (*Lasiodiplodia*) which are wood-stainer fungi or mold. *Basidiomycetes* have potential for the biological removal of stumps in eucalypts plantations, as well as for the development of biotechnology and use in forestry. New studies in this line of research must be carried out, mainly, considering their technical and economic feasibility.

Keywords: Eucalypts wood. Xylophagous microorganisms. Fungal isolation.

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros fungos que colonizam as árvores recém cortadas, seguindo a sucessão ecológica, são os emboloradores, manchadores e os apodrecedores. Isso ocorre em razão da quantidade de substâncias de reserva, das quais esses organismos se nutrem, e a elevada umidade do material, o que propicia o desenvolvimento dessa classe de fungos (FUKASAWA *et al.*, 2021; PIRES *et al.*, 2025).

As ações de degradação da madeira pelos fungos podem ser classificadas como cromogênicas e apodrecedoras. A primeira é realizada pelos fungos emboloradores e manchadores, que se alimentam de componentes de reserva não-estruturais (sais minerais, amido e açúcares simples) localizados nos lumens das células de parênquima no alburno, afetando o aspecto visual, mas com pequeno impacto sobre as propriedades mecânicas (OLIVEIRA; MÜLLER, 2024).

Os fungos emboloradores descolorem a madeira e podem atacar e colonizar espécies de coníferas e folhosas, seja em madeira roliça, serrada e produtos em uso. Não causam nenhum dano ou ataque pronunciado à parede celular e são classificados como Deuteromicetos e Ascomicetos (STRULLU-DERRIEN *et al.*, 2021; WOŹNIAK, 2022). Apesar da importância dos fungos emboloradores, especialmente com relação à utilização de madeira sem tratamento, poucos estudos buscam identificá-los, quando comparados aos fungos apodrecedores.

Os manchadores ocorrem, frequentemente, em toras recém-cortadas e em peças de madeira serrada, durante a secagem, ou mesmo após esse processo com o reumidecimento da madeira. A sua ocorrência em árvores vivas e saudáveis não é muito comum, mas podem ocorrer em árvores senescentes. A maioria destes organismos não é capaz de perfurar as paredes das células e dependem de aberturas naturais entre elas e do rompimento mecânico das membranas das pontoações para penetrarem na madeira. Dentre os principais degradadores deste tipo estão os gêneros de fungos mitospóricos, da Classe Coelomycetes: *Lasiodiplodia*, *Ophiostoma*, *Graphium* e *Diplodia* (FURTADO, 2000).

A maioria dos fungos apodrecedores pertencem a Basidiomycota (Basidiomicetos), mas alguns são Ascomicetos e Deuteromicetos (fungos imperfeitos) (LI *et al.*, 2022). As espécies destes gêneros variam amplamente quanto à espécie, estrutura e propriedades químicas da madeira atacada, teor de umidade e temperatura propícias para o seu

crescimento e diferentes posições na madeira. Provavelmente, esses agentes bióticos são os que mais degradam a madeira e, portanto, os de maior importância econômica (RÄBERG *et al.*, 2013; ARAÚJO *et al.*, 2021). Estes fungos apodrecedores são capazes de degradar os componentes estruturais da parede celular da madeira (celulose, hemicelulose e lignina), com a consequente perda de propriedades físico-mecânicas. Logo, as modificações ocorridas na madeira dependem do tipo de fungo envolvido na degradação, se ele é de podridão parda, branca ou mole (OLIVEIRA; MÜLLER, 2024).

A identificação dos fungos deterioradores de madeira, tem grande importância prática para a remoção biológica dos tocos remanescentes na área de plantios após a colheita, sendo uma operação necessária para a limpeza e reforma do terreno, instalação de novos plantios, possibilitar ganhos de produtividade e segurança de trabalhadores e maquinários durante as atividades silviculturais. Algumas empresas florestais realizam a remoção mecânica dos tocos, porém essa operação gera custos consideráveis por unidade e hectare (CASSELLI *et al.*, 2018), além de impactar as características físico-químicas e a matéria orgânica dos solos (ACHAT *et al.*, 2015), sendo pouco aplicável em áreas montanhosas, como os locais analisados nesse estudo, em função das dificuldades operacionais das máquinas e equipamentos (BRINATE, 2016). O uso de produtos químicos para acelerar a deterioração dos tocos também possui custos significativos e pode gerar um passivo ambiental e suas consequências. Por esses fatores, a remoção biológica configura-se como alternativa potencial e sustentável (COSTA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2020).

Em adição, a identificação de alguns gêneros ou espécies de fungos nos tocos de árvores já colhidas, pode possibilitar sua utilização em outras áreas, gerando novas oportunidades para produtores e empresas com a biotecnologia (SILVA; MALTA, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019). Não se descarta também os avanços gerados no conhecimento da deterioração e proteção das madeiras, por meio de avaliações em suas bases remanescentes ainda em campo. Desta forma, este trabalho teve como objetivo isolar,

Selecionar e quando possível, identificar (em nível de gênero) fungos com potencial de deteriorar tocos de madeiras de eucalipto.

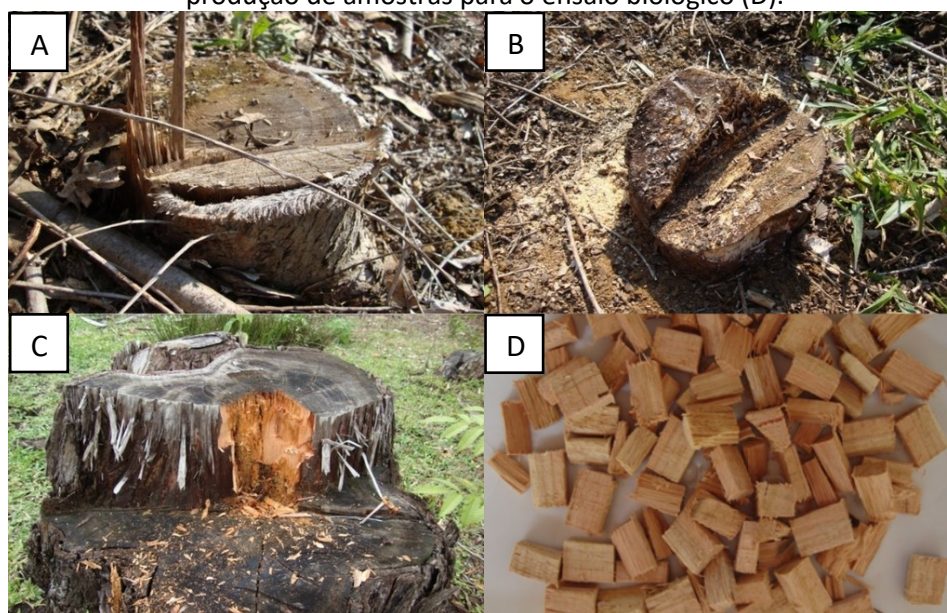
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA E AMOSTRAGEM

A diversidade dos fungos lignocelulolíticos foi analisada a partir de coletas aleatórias de materiais de vários tocos deteriorados em plantações de eucaliptos, nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Guaçuí, estado do Espírito Santo e Espera Feliz, estado de Minas Gerais. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima desses municípios é Cwa – clima subtropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

A Fazenda Bananal do Sul (Latitude de 26°07'68" W e Longitude de 77°01'38" S) localizada em Cachoeiro de Itapemirim - ES, possui relevo com variações de fortemente ondulado a montanhoso e altitudes variando entre 70 e 130 metros. A temperatura média anual é de 24 °C. Os materiais coletados neste município foram provenientes de tocos deteriorados de clones de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, com idade de aproximadamente cinco anos, sendo quatro anos de plantio e um ano após o corte (Figura 1 A).

Figura 1 - Tocos de eucalipto em que foram coletadas as amostras nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim – ES (A), Guaçuí - ES (B) e Espera Feliz - MG (C), e fragmentos de madeira utilizados para a produção de amostras para o ensaio biológico (D).



Localizada em Guaçuí - ES, a Fazenda São Sebastião (Latitude de 22°88'76" W e Longitude de 77°06'79" S) possui relevo bastante acidentado e a altitude oscila entre 600 e 1.000 metros. A temperatura média anual é de 20 °C. As amostras coletadas também foram de clones de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, com idade de aproximadamente 5 anos, sendo quatro anos de plantio e um ano após o corte (Figura 1 B).

A Fazenda Paraíso (Latitude de 20°53'35" W e Longitude de 77°25'55" S), situada no município de Espera Feliz - MG é parte integrante do maciço do Caparaó, possui relevo muito acidentado e a altitude oscila entre 900 e 2.000 metros. A temperatura média anual é de 19 °C, enquanto a precipitação pluviométrica anual média é de 1.595 mm. O material coletado é da espécie *Eucalyptus grandis*, com idade aproximada de 20 anos, sendo 18 anos de plantio e dois anos após o corte. O toco representativo da plantação na qual foram coletadas as amostras estava à aproximadamente 925 metros de altitude (Figura 1 C).

As amostras coletadas foram devidamente identificadas, acondicionadas em sacos de papel poroso e transportadas para o Laboratório de Biodeterioração e Proteção da Madeira (LBPM), no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) localizado em Jerônimo Monteiro – ES, Brasil. As amostras coletadas na área de transição entre a porção sadia e em decomposição dos tocos, foram transformadas em pequenos fragmentos de madeira de aproximadamente 1,0 × 0,5 × 1,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) (Figura 1 D) na marcenaria do DCFM.

2.2. ISOLAMENTO INDIRETO E DIRETO DOS FUNGOS PRESENTES NOS TOCOS

Com o intuito de obter isolamento fúngico de forma indireta, os fragmentos de madeira foram desinfestados em solução de hipoclorito de sódio 0,2% por 30 segundos, lavados em água destilada esterilizada, passados rapidamente pela chama de gás e transferidos assepticamente para placas de Petri, contendo meio de cultura de Batata-Dextrose-Ágar (BDA) estéril. As placas de Petri foram lacradas com fita plástica ("Parafilm M"), embaladas em folhas de papel para permanecerem no escuro e mantidas em sala climatizada com temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$, até a observação de crescimento micelial para realizar o isolamento direto (ALFENAS; MAFIA, 2016).

Para o isolamento direto dos fungos, procedeu-se uma transferência, com um estilete, de estruturas do patógeno (esporos e hifas) geradas na etapa indireta para meio BDA contido em placas de Petri. Estas também foram lacradas com fita plástica, embaladas em folhas de papel e mantidas em sala climatizada até a observação de crescimento micelial, quando as culturas foram sucessivamente repicadas para placas de Petri com meio de BDA, permanecendo até a obtenção de culturas puras (ALFENAS; MAFIA, 2016).

2.3. ARMAZENAMENTO DAS CULTURAS E IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS

As culturas puras obtidas pelo isolamento direto foram transferidas para placas de Petri e tubos de ensaio contendo meio BDA, armazenadas no LBPM a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$, no escuro, e utilizadas em ensaios do laboratório (SILVA *et al.*, 2014).

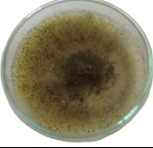
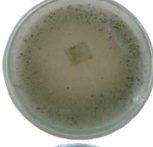
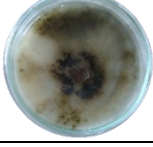
Para a identificação dos fungos foram realizadas observações macroscópicas das culturas e microscópicas em lâminas semipermanentes preparadas com lactofenol. Em microscópio óptico foram observadas as estruturas reprodutivas dos fungos. Para alguns deles foram preparadas microculturas visando observar detalhes das estruturas (FERNANDEZ, 1993), para que a identificação fosse a mais precisa possível. As características macroscópicas e microscópicas foram comparadas com às descritas em bibliografia especializada (RIFAI, 1969; BOOTH, 1971; SAMSON, 1974; CARMICHAEL *et al.*, 1980; HANLIN, 1998; BARNETT; HUNTER, 1998).

A etapa de comparação microscópica, para a identificação em nível de gênero, foi realizada no Laboratório de Fitopatologia do Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI) da UFES, localizado em Alegre – ES, Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos fragmentos de madeira retirados nos tocos de eucaliptos deteriorados nos três municípios avaliados, foram obtidos nove isolados fúngicos provenientes de três culturas puras de cada localidade (Tabela 1). Quando possível, os fungos foram identificados em nível de gênero e incluídos em seus respectivos grupos (BARNETT; HUNTER, 1998). Somente os fungos considerados Basidiomicetos, não produziram esporos, não sendo possível sua identificação a nível de gênero (Tabela 1), pela estrutura laboratorial disponível. No entanto, nessa classe se encontram os fungos responsáveis pelas podridões parda e branca, que possuem características enzimáticas próprias na decomposição dos constituintes químicos estruturais e causam considerável perda de massa da madeira (SILVA *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Fungos isolados a partir dos tocos de eucalipto amostrados em diferentes áreas de coleta.

Área de coleta	Fotografia da placa	Classe	Fungo isolado	Tipo do fungo
Cachoeiro de Itapemirim – Espírito Santo		Deuteromycetes	<i>Acremonium</i> sp.	Podridão mole
		Basidiomycetes	Basidiomicetos 1	-
		Hyphomycetes	<i>Trichoderma</i> sp.	Embolizador
Guaçuí – Espírito Santo		Coelomycetes	<i>Lasiodiplodia</i> sp.	Manchador
		Basidiomycetes	Basidiomicetos 2	-
		Hyphomycetes	<i>Trichoderma</i> sp.	Embolizador
Espera Feliz – Minas Gerais		Hyphomycetes	<i>Penicillium</i> sp.	Embolizador
		Hyphomycetes	<i>Trichoderma</i> sp.	Embolizador
		Hyphomycetes	<i>Trichoderma</i> sp.	Embolizador

Os fungos da classe Basidiomicetos ocorreram apenas nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Guaçuí - ES, apresentando maior ocorrência no município de menor altitude e maior temperatura. De acordo com ANDRADE *et al.* (2012), a degradação biológica dos tocos é influenciada pelos fatores ambientais prevalentes no povoamento florestal. A não ocorrência desses fungos em tocos de eucalipto do município de Espera Feliz- MG também é explicada pela idade mais avançada do lenho. A produção e atividade das enzimas dos fungos

que atuam na degradação da madeira são influenciadas pela composição química do material a ser degradado (ALONSO *et al.*, 2007), que apresenta diferenças com a idade de corte.

A ocorrência da classe que representa os fungos de podridão nesses dois municípios, gera indícios da possibilidade de desenvolvimento da prática de remoção biológica de tocos remanescentes das plantações. A remoção biológica seria uma alternativa apta a aplicação em áreas de produção de eucalipto em regiões montanhosas ou com terrenos declivosos, em que seja possível um novo plantio entre as linhas da última rotação, otimizando manejo, crescimento da floresta e a degradação dos tocos remanescentes. Contudo, novos estudos precisam ser realizados nas plantações em áreas declivosas e que esteja em prática a remoção biológica de tocos, para ponderar o potencial deteriorador de alguns microrganismos, o crescimento florestal, a eficiência operacional das práticas de plantio e manejo e a viabilidade econômica.

A deterioração natural de tocos e raízes é lenta em muitas regiões, praticamente sem alterações de massa e volume por vários anos após a colheita, podendo ser superior a três ciclos de corte ou rotação (ANDRADE *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2017), tendo cada ciclo cerca de 7 anos. Uma alternativa para resolver essa situação, é a utilização de agentes degradadores pré-selecionados que acelerem a deterioração, mitigando a influência negativa dos tocos nas áreas de reforma das plantações (NEGRÃO *et al.*, 2014). Esses avanços serão possíveis com a realização de mais iniciativas práticas e pesquisas na linha de remoção biológica, visto que o primeiro passo para a utilização dos fungos é conhecer a biodiversidade ali existente (MANZATO, 2018).

Dos nove isolados fúngicos associados às amostras de madeira de eucalipto, o gênero *Trichoderma* foi o de maior ocorrência e apresentou diversidade de espécies, tendo sido isolado em duas amostras provenientes da plantação em Espera Feliz - MG, uma de Cachoeiro de Itapemirim – ES e uma de Guaçuí - ES. O gênero *Penicillium* foi isolado de amostras oriundas de Espera Feliz - MG (Tabela 1). Esses fungos do gênero *Trichoderma* e *Penicillium* são considerados emboloradores ou manchadores de madeira (DIX; WEBSTER, 1995).

Os fungos pertencentes ao gênero *Trichoderma*, são organismos de vida livre, que se reproduzem assexuadamente e estão presentes com mais frequência em solos de regiões de clima temperado e tropical (LAZAROTTO *et al.*, 2016). A colonização da madeira, ocorre onde a fase sexual teleomorfa (gênero *Hypocrea*) é frequentemente encontrada (MACHADO *et al.*, 2012).

As diferenças de altitude e temperatura avaliados, não demonstrou ter influência negativa sobre a ocorrência de fungos do gênero *Trichoderma* em tocos de eucalipto. Esses fungos possuem alta capacidade de tolerar faixas de temperatura (valor ideal em torno de 25 °C), apresentando ampla distribuição ecológica e os períodos alternados de luz e escuridão favorecem a sua colonização em diferentes substratos sólidos (SIVILA; ÁLVAREZ, 2013).

Difícilmente o *Trichoderma* causa deterioração na madeira, mas o alburno atacado por esses microrganismos pode exibir coloração variável, geralmente azul a cinza escuro (SILVA *et al.*, 2014), depreciando a madeira para a produção de móveis e pisos, por exemplo. É importante considerar que a descoloração e a deterioração causadas por fungos estão entre as principais formas de desvalorização na produção madeireira, com perdas significativas de 15 a 25% do valor da árvore e de 10 a 15% em produtos de madeira durante a sua estocagem e utilização (KELLEY *et al.*, 2002). A identificação desses fungos em amostras de eucaliptos em idades mais avançadas (18 anos), que representam o suprimento ideal para a indústria de produtos sólidos, demonstra a necessidade de ter cautela com as condições propícias a sua proliferação durante o armazenamento, beneficiamento e utilização da madeira.

Em pesquisa realizada com ripas de madeira de Pinus utilizadas na montagem de caixas para embalagens de hortaliças, foi observado o desenvolvimento de fungos, sendo detectados *Trichoderma harzianum* e *Rhizopus stolonifer* (HENZ; CARDOSO, 2005). Fungos emboloradores e manchadores foram isolados e identificados em madeira de 12 espécies estocadas em indústrias madeireiras de Manaus - AM (Hanada *et al.*, 2003). O gênero *Trichoderma* foi identificado a nível de quatro espécies: *T. harzianum*, *T. longibrachiatum*, *T. pseudokonigii* e *T. viride*. YE *et al.* (1993) e LAZAROTTO *et al.* (2016) também isolaram fungos *Trichoderma* e *Penicillium* em madeira de Pinus.

Ao testarem os fungos isolados de tocos de eucalipto, SILVA *et al.* (2014) observaram pequenas perdas de massa provocadas pela inoculação de *Trichoderma* sp., quando comparados as outras espécies já reconhecidas como deterioradores de madeira. Segundo os autores, apesar dos fungos do gênero provocarem bolor e serem os primeiros a colonizar a madeira, eles possuem pequena capacidade de deteriorar material lignocelulósico. Os fungos emboloradores não são capazes de atacar a superfície da madeira em umidades abaixo do ponto de saturação das fibras ($\pm 30\%$), por isso sua ocorrência é comum em toras recém-cortadas, peças recém-serradas ou madeiras expostas em ambientes com alta umidade (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A ocorrência de fungos do gênero *Trichoderma* em tocos deteriorados oriundos dos três locais avaliados, representa uma oportunidade interessante para a biotecnologia, mas que ainda não tem sido explorada por empresas e produtores da região. Com destaque para o gênero *Trichoderma*, que podem ser utilizados no controle biológico na agricultura, como micoherbicida, micoInseticida ou micoparasita. Eles são aplicados nas técnicas de produção de “inseticidas microbianos” que diminuem o uso de agroquímicos, com vantagens econômicas e ambientais (SILVA; MALTA, 2016). Os biofungicidas à base de *Trichoderma* são utilizados no Brasil em diversas situações, para a promoção de crescimento de culturas como soja, algodão, milho, feijão, frutíferas, cana-de-açúcar, café, tabaco, hortaliças e espécies florestais (BETTIOL *et al.*, 2019).

Tendo em vista, a sua diversidade de aplicação em culturas agrícolas e espécies florestais, o isolamento de fungos *Trichoderma* a partir de tocos de eucalipto, considerados resíduos e entraves a produtividade e operações florestais, pode ser um novo nicho de mercado, capaz de gerar renda e empregos na agricultura e também para empresas, *startups* e investidores. Além disso, a capacidade de se adaptar às várias condições ambientais e substratos, como demonstrado nesse estudo, dão ao *Trichoderma* a possibilidade de ser usado em diferentes solos, culturas, climas e processos tecnológicos para sua multiplicação, sejam eles artesanais ou industriais (SIVILA; ÁLVAREZ, 2013).

Os fungos do gênero *Penicillium* além de alterar o aspecto visual, podem produzir toxinas como citrinas, patulinas, ocratoxinas e aflatoxinas, que são tóxicas ao homem e aos animais, além de serem oportunistas em infecções respiratórias quando estes se encontram imunodeficientes (FURTADO, 2000). As condições para a produção de toxinas variam de acordo com o substrato e espécie do fungo presente, o que os torna potencialmente perigosos quando a madeira contaminada é utilizada na composição de embalagens de produtos alimentícios. Esta observação é importante porque a madeira jovem de eucalipto é comumente utilizada para a produção de embalagens e caixotarias para frutas e hortaliças.

O gênero *Lasiodiplodia* pertencente ao grupo dos fungos manchadores, foi isolado de amostras provenientes dos tocos da plantação do município de Guaçuí - ES. Esses, em contato com a parte interna da madeira, causam o seu manchamento ou azulamento (TALBOT, 1977). Na África e no Brasil, o *Lasiodiplodia theobromae* foi relatado como agente causal da mancha azul em peças serradas de madeira (ENCIÑAS, 1996).

Os fungos manchadores, não alteram a densidade ou resistência da madeira, apenas a sua estética é comprometida. Todavia, OLIVEIRA *et al.* (1986) apontaram que o alburno de peças serradas de Pinus, internamente manchado, apresentou redução de 1 a 2% na densidade, 2 a 10% na dureza, 1 a 5% na resistência à flexão e de 15 a 30% na resistência ao impacto, além da madeira ser muito mais permeável que a sadia. Dessa forma, a utilização da madeira com esse tipo de biodeterioração deve ser restringida. Por causa da alta velocidade de penetração das hifas no lenho, a madeira colhida para a produção de sólidos deve ser rapidamente seca e tratada com aplicação de produtos químicos (LEPAGE *et al.*, 2017).

Uma mesma espécie de fungo pode atuar de forma diferente de acordo com as circunstâncias (KÄÄRIK, 1975). Além disso, os fungos emboloradores e manchadores ocorrem quase que concomitantemente, ocupando nichos ecológicos bastante próximos (OLIVEIRA *et al.*, 1986). Geralmente, a distinção entre fungos emboloradores e manchadores está embasada em suas atividades enzimáticas, que diferenciam os principais grupos fisiológicos que preenchem sucessivamente os diferentes nichos ecológicos existentes na madeira, não discriminando necessariamente os grupamentos taxonômicos (KÄÄRIK, 1975). Sob certas circunstâncias, os fungos emboloradores e manchadores podem ser antagônicos aos de podridão, principalmente se eles forem os colonizadores pioneiros (HULME; SHIELDS, 1975). Esse antagonismo entre os fungos, pode explicar a não ocorrência de microrganismos da classe Basidiomicetos em amostras de lenho de tocos oriundos de Espera Feliz - MG, com destaque para os fungos *Trichoderma* sp. como antagonistas (KENIGSVALDE *et al.*, 2017).

Estudos explorando essa linha de pesquisa foram realizados. BROWN; BRUCE (1999) avaliaram o potencial do *Trichoderma viride* como antagonista a fungos degradadores de madeira. A ocorrência de *T. harzianum* reduziu a quantidade de fungos apodrecedores em toras de Pinus sp. (SCHOEMAN *et al.*, 1993) e madeiras infestadas com *T. harzianum* apresentaram resistência a fungos degradadores, principalmente os de podridão parda (MESSNER *et al.*, 1996).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fungos isolados dos tocos de eucaliptos provenientes de plantações em diferentes municípios variaram em nível de gênero, em função das características dos locais de desenvolvimento. Foi possível isolar nove culturas puras de fungos xilófagos, sendo três de cada localidade.

A identificação genérica dos fungos permitiu separá-los em grupos pertencentes às classes Basidiomycetes, Deuteromycetes, Hyphomycetes e Coelomycetes. Sendo cinco fungos emboloradores (quatro *Trichoderma* spp. e um *Penicillium* sp.) e um manchador (*Lasiodiplodia* sp.). As duas culturas classificadas como Basidiomicetos não puderam ser identificadas em nível de gênero, pois não produziram esporos ou hifas com características específicas que permitissem sua identificação.

Os fungos isolados possuem potencial para a remoção biológica de tocos remanescentes de plantações de eucalipto, bem como para aplicações biotecnológicas e utilização na agricultura e silvicultura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento (001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas e apoios à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ACHAT, D. L.; DELEUZE, C.; LANDMANN, G.; POUSSE, N.; RANGER, J.; AUGUSTO, L. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 348, p. 124-141, 2015.
- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (Eds.). **Métodos em fitopatologia**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2016. 516p.
- ALONSO, S. K.; SILVA, A. G.; KASUYA, M. C. M.; BARROS, N. F.; CAVALLAZZI, J. R. P.; BETTUCCI, L.; LUPO, S.; ALFENAS, A. C. Isolation and screening of wood white rot fungi from *Eucalyptus* spp. forests with potential for use in degradation of stumps and roots. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 145-155, 2007.
- ANDRADE, F. A.; CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; FURTADO, E. L. Selection of fungi for accelerated decay in stumps of *Eucalyptus* spp. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 456-461, 2012.
- ARAÚJO, P. C. D.; SILVA, F. D. S.; MACIEL, E. R. F.; CASTRO, V. G. Deterioração da madeira de *Pityrocarpa moniliformis* por macrofungos. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 4, p. 1633-1641, 2021.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, ed. 4, 1998. 240p.

- BETTIOL, W.; SILVA, J. C.; CASTRO, M. L. M. P. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.), **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, p. 21-43, 2019.
- BOOTH, C. **The genus *Fusarium***. New England: International Mycological Institute, 1971. 237p.
- BRINATE, I. B. **Colheita semimecanizada de eucalipto em áreas declivosas**. 2016. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.
- BROWN, H. L.; BRUCE, A. Assessment of the biocontrol potential of a *Trichoderma viride* isolate. Part I: Establishment of field and fungal cellar trials. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 44, n. 4, p. 219-223, 1999.
- CARMICHAEL, J. W.; KENDRICK, W. B.; CONNERS, J. L.; SIGLER, L. **Genera of *Hyphomycetes***. Alberta, Canada: The University of Alberta Press, 1980.
- CASSELLI, V.; PRATA, G. A.; SEIXAS, F. Rendimento operacional e viabilidade econômica na colheita de tocos de eucalipto em dois sistemas extração. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 117, p. 97-106, 2018.
- COSTA, L. G.; PAES, J. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; BROCCO, V. F.; FURTADO, E. L. Potential of selected fungi for biological stump removal of *Eucalyptus* spp. **Forest Ecology and Management**, v. 402, p. 265-271, 2017.
- COSTA, L. G.; PAES, J. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; BROCCO, V. F.; PINHO, D. B. Isolation and identification of fungi with potential for biological stump removal of *Eucalyptus* spp. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 32, n. 2, p. 154-160, 2020.
- DIX, N. J.; WEBSTER, J. **Fungal ecology**. London: Chapman & Hall, 1995. 549p.
- ENCIÑAS, O. **Development and significance of attack by *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl. in Caribbean pine wood and some other wood species**. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 1996. 107p. (Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria, 8).
- FERNANDEZ, M. R. **Manual para laboratório de fitopatologia**. Passo Fundo: Embrapa, 1993. 128p.
- FURTADO, E. L. Microorganismos manchadores da madeira. **Série Técnica IPEF**, v. 13, n. 33, p. 91-96, 2000.
- FUKASAWA, Y.; MATSUKURA, K. Decay stages of wood and associated fungal communities characterise diversity–decomposition relationships. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 8972, 2021.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

- HANADA, R. E.; SALES-CAMPOS, C.; ABREU, R. L. S.; PFENNING, L. Fungos emboloradores e manchadores de madeira em toras estocadas em indústrias madeireiras no município de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 3, n. 33, p. 483-488, 2003.
- HANLIN, R. T. **Illustrated genera Ascomycetes**. (2^a ed.). Saint Paul: The American Phytopathological Society. 1998. 268p.
- HENZ, G. R.; CARDOSO, F. B. Absorção de água e proliferação de fungos em madeira de Pinus usada como embalagem para hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 138-142, 2005.
- HULME, M. A.; SHIELDS, J. K. **Antagonistic and synergistic effects for biological control of decay**. In: LIESE, W. (Org.), Biological transformation of wood by microorganism. Berlin: Springer-Verlag. 1975. P. 52-63.
- KÄÄRIK, A. **Decomposition of wood**. In: Dickinson, C. H.; Pugh, G. J. F. (Eds.). Biology of plant litter decomposition. London: Academic Press, 1975. p. 129-174.
- KELLEY, S. S.; JELLISON, J.; GOODELL, B. Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood. **FEMS Microbiology Letters**, v. 209, n. 1, p. 107-111, 2002.
- KENIGSVALDE, K.; NITISA, D.; SAULITE, D.; KORHONEN, K.; VULFA, L.; NIKOLAJEVA, V.; KLAVINA, D.; BRUNA, L.; GAITNIEKS, T. Impact of *Trichoderma* sp. on the development of *Heterobasidion annosum* in decayed understory *Picea abies* stumps. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences**, v. 71, n. 1/2, p. 52-56, 2017.
- LAZAROTTO, M.; OLIVEIRA, L. S.; HARAKAVA, R.; ZANATTA, P.; FARIAS, C. R. J. Identificação de fungos emboloradores em madeira de *Pinus* spp. em laboratório. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 602-605, 2016.
- LEPAGE, E.S.; SALIS, A. G.; GUEDES, E. C. R. Tecnologia de proteção da madeira. São Paulo: Montana Química, 2017. 225p.
- LI, T.; CUI, L.; SONG, X.; CUI, X.; WEI, Y.; TANG, L.; MU, Y.; XU, Z. Wood decay fungi: an analysis of worldwide research. **Journal of Soils and Sediments**, v. 22, p. 1688-1702, 2022.
- MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, S. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.
- MANZATO, B. L. **Diversidade de fungos basidiomicetos macroscópicos em áreas de reflorestamento de *Eucalyptus* spp.** 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2018.
- MESSNER, K.; BURGEL, J.; HORVATH, E. M.; SCHLICK, A.; FLECK, V.; MARCHLER, A. State of development of the LCT method of wood preservation. **Holz Zentralblatt**, v. 122, n. 15, p. 232-233, 1996.

- NEGRÃO, D. R.; SILVA JÚNIOR, T. A. F.; PASSOS, J. R. S.; SANSÍGOLO, C. A.; MINHONI, M. T. A.; FURTADO, E. L. Biodegradation of eucalyptus urograndis wood by fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 89, p. 95-102, 2014.
- OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LEPAGE, E. S.; LOPEZ, G. A. C; OLIVEIRA, L. C. S; CANEDO, M. D. et al. Agentes destruidores da madeira. In: Lepage, E. S. (Coord.). Manual de preservação de madeiras, São Paulo: IPT. 1986. v. 1, p. 99-278.
- OLIVEIRA, G. F. S.; GONZAGA, A. D.; ASSUNÇÃO, E. N.; SOUZA, A. Q. L.; AZEVEDO, J. L. Ação patogênica de *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Isaria javanica* e *Penicillium* sp. contra *Nasutitermes corniger* Motschulsky (Isoptera: Termitidae) no Amazonas. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 7-11, 2018.
- OLIVEIRA, L. S.; MÜLLER, M. T. **Agentes de biodeterioração da madeira**. Pelotas: Editora UFPel, 2024. 71p.
- PIRES, R. M.; SCHIGEL, D.; KJØLLER, R.; FRØSLEV, T. G.; SANTOS, S. S.; MILAGRES, A. M. F.; ARMANI, G.; GUGLIOTTA, A. M. Drivers of fungal succession in three different woody species in a tropical forest fragment. **Cryptogamie, Mycologie**, v. 46, n. 1, p. 1-20, 2025.
- RÄBERG, U.; TERZIEV, N.; GEOFFREY, D. Degradation of Scots pine and beech wood exposed in four test fields used for testing of wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 79, p. 20-27, 2013.
- RIFAI, M. A. A revision of the genus *Trichoderma*. **Mycological Papers**, v. 116, p. 1-56, 1969.
- SAMSON, R. Paecilomyces and some allied Hyphomycetes. **Studies in Mycology**, v.6, p. 1-119, 1974.
- SCHOEMAN, M. W.; WEBBER, J. F.; DICKINSON, D. J. Chain-saw application of *Trichoderma harzianum* Hifai to reduce fungal deterioration of freshly felled pine logs. **Material und Organismen**, v. 28, n. 4, p. 243-250, 1993.
- SILVA, B. N. S.; FERREIRA, M. A.; SANTOS, N. J. R. Biodegradação da madeira de eucalipto por fungos de podridão. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 2, n. 5, p. 41-54, 2019.
- SILVA, C. J. A.; MALTA, D. J. N. A importância dos fungos na biotecnologia. **Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 2, n. 3, p. 49-66, 2016.
- SILVA, L. F.; PAES, J. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; OLIVEIRA, J. T. S; FURTADO, E. L.; ALVES, F. R. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 393-400, 2014.
- SIVILA, N.; ÁLVAREZ, S. Tecnologías agroecológicas para la agricultura familiar: producción artesanal de *Trichoderma*. San Salvador de Jujuy: Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ciencias Agrarias. 2013.

- STRULLU-DERRIEN, C.; PHILIPPE, M.; KENRICK, P.; BLANCHETTE, R. A. Blue stain fungi infecting an 84-million-year-old conifer from South Africa. **New Phytologist**, v. 233, n. 3, p. 1032-1037, 2021.
- TALBOT, P. H. The *Sirex-Amylostereum-Pinus* association. **Annual Review of Phytopathology**, v. 15, p. 41-54, 1977.
- WOŹNIAK, M. Antifungal agents in wood protection—A review. **Molecules**, v. 27, n. 19, p. 6392, 2022.
- YE, W.; ZHANG, Q.; HONG, S.; ZHU, D. Studies on fungi associated with *Bursaphelenchus xylophilus* on *Pinus massoniana* in Shenzhen, China. **Afro-Asian Journal of Nematology**, v. 3, n. 1, p. 47-49, 1993.

CAPÍTULO XXVI

INFLUÊNCIA DA CARACTERÍSTICAS ANATÔMICA E QUÍMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DE MADEIRAS UTILIZADAS EM CONSTRUÇÕES TRADICIONAIS EM MOCAMBIQUE: UMA REVISÃO

INFLUENCE OF ANATOMICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS ON BIOLOGICAL RESISTANCE OF WOOD USED IN TRADITIONAL BUILDINGS IN MOZAMBIQUE: A REVIEW

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-26

Nédia Pereira Correia Mendes Correia¹

Rodolpho Stephan Santos Braga²

Glaucileide Ferreira³

Felipe da Silva Gomes⁴

Caroline Palacio de Araujo⁵

Juarez Benigno Paes⁶

¹ Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

² Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

³ Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

⁴ Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

⁵ Doutora em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

⁶ Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

RESUMO

Nas construções tradicionais em Moçambique (palhotas e casas de pau a pique) são utilizadas madeiras, por causa da disponibilidade e vulnerabilidade socioeconômica da população. Entre as espécies mais utilizadas destacam-se a *Pterocarpus angolensis* e *Swartzia madagascariensis* (de terra firme), e *Avicennia marina* e *Rhizophora mucronata* (de manguezais). A escolha é influenciada por disponibilidade, resistência e características anatômicas e químicas que afetam a durabilidade. A resistência biológica da madeira está associada à densidade, espessura das paredes celulares, diâmetro dos vasos, tipo de parênquima e composição química. Madeiras mais densas e com alto teor de lignina e extrativos apresentam maior resistência a fungos, térmitas e brocas. *P. angolensis* possui cerne resistente, alto teor de taninos (77%) e boa estabilidade dimensional, sendo adequada para ambientes externos. *S. madagascariensis* apresenta alta densidade e teor de extrativos, o que a torna imune a fungos e insetos. *A. marina* tem baixo teor de

lignina (19,2%) e maior suscetibilidade à deterioração, embora fenóis e terpenoides presentes possam contribuir para a resistência. *R. mucronata* possui cerca de 28% de lignina e 6% de extrativos, favorecendo resistência biológica, mas valores menores de lignina relatados em outras fontes indicam variabilidade em função de fatores ambientais e metodológicos. O estudo evidencia que a constituição anatômica e a composição química influenciam diretamente a longevidade da madeira em construções tradicionais, ressaltando a importância de selecionar espécies com propriedades compatíveis com as condições de uso e exposição.

Palavras-chave: Durabilidade. Agentes xilófagos. Construções rurais

ABSTRACT

Traditional constructions in Mozambique (huts and wattle and daub houses) use wood due to its availability and socioeconomic vulnerability of the



population Among the most used species are *Pterocarpus angolensis* and *Swartzia madagascariensis* (from dry land), and *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* (from mangroves). Wood selection is influenced by availability, strength, and anatomical and chemical characteristics that affect durability. Wood biological resistance is associated with density, cell wall thickness, vessel diameter, parenchyma type, and chemical composition. Denser woods with a high lignin and extractive content are more resistant to fungi, termites, and borers. *P. angolensis* has strong heartwood, a high tannin content (77%), and good dimensional stability, making it suitable for outdoor environments. *S. madagascariensis* has a high density and extractive content, making it immune to fungi and insects. *A.*

marina has a low lignin content (19.2%) and is more susceptible to decay, although phenols and terpenoids present may contribute to resistance. *R. mucronata* contains approximately 28% lignin and 6% extractives, favoring biological resistance, but lower lignin values reported elsewhere indicate variability due to environmental and methodological factors. The study shows that anatomical structure and chemical composition directly influence the longevity of wood in traditional constructions, highlighting the importance of selecting species with properties compatible with the conditions of use and exposure.

Keywords: Durability. Wood-eating agents. Rural buildings.

1. INTRODUÇÃO

No mundo, as estruturas de madeira atuais, tiveram como precursores pequenos troncos que eram arrumados e cobertos com folhas conforme o tipo de ferramenta que cada tribo possuía. Portanto, as uniões das peças de madeira eram com cordas tecidas com as fibras das folhas e com lianas. As coberturas eram de materiais vegetais (folhas e ramos) que foram substituídos por outros, como tecidos, esteiras de fibras de palmeiras. Mais tarde, estes serviram de estrutura base para a colocação de camadas de barro e argila (LOURENÇO; BRANCO, 2012).

Muitos países têm casas tradicionais em escala macro e micro entre as ricas tipologias habitacionais ao redor do mundo (KULOGLU; OZTURK, 2014). Em Moçambique, a maioria da população vive em assentamentos informais não planejados, portanto, recorre a técnicas e materiais tradicionais, o que resulta em uma menor qualidade final da moradia e um maior risco de transtornos futuros (HOLZ, 2018).

O País é estatisticamente considerado pobre (CHALE; SILVA, 2022), e o número de habitações tem aumentado, acompanhando a dinâmica de crescimento demográfico. No entanto, em nível de condições habitacionais as mudanças têm sido lentas. A palhota continua a ser a forma tradicional de habitação rural predominante (69,7%) (LANGA, 2010; NICÚMUA, 2021). Definidas como habitação circular ou retangular, construída com estacas de madeira, por paredes de pau a pique ou blocos de terra crua e cobertura de capim, por folhas de palmeira ou chapas de zinco (CHALE; SILVA, 2022).

Dentre os materiais utilizados na construção de habitações de pau a pique, a madeira se destaca como um dos principais componentes. Sua ampla utilização se deve a abundância natural em Moçambique. O País é caracterizado por florestas africanas do tipo miombo, dominadas por espécies da família Fabaceae (PEREIRA, 2006; HOFIÇO; FLEIG, 2015), entre as quais se selecionaram os gêneros *Pterocarpus* e o *Swartzia* para este estudo (ALI et al., 2008; NANVONAMUQUITXO; ROJAS; HOFIÇO, 2017).

Além disso, há disponibilidade da floresta de mangue, que se estende ao longo da costa moçambicana e cobre aproximadamente 40.000 hectares (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; BALIDY; JACINTA, 2011). Entre as nove espécies arbóreas de mangue verdadeiro identificadas em Moçambique, para este estudo foram eleitas *Avicennia marina* e *Rhizophora mucronata* por estarem entre as espécies utilizadas na construção habitacional (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001).

As construções de habitação de pau a pique em Moçambique, dispõem a madeira a deterioração biótica mais acentuada porque as peças de madeira entram em contato direto com o solo, umidade e outras situações favoráveis à deterioração (HOFFMANN et al., 2023).

Os agentes biológicos decompõem a madeira para utilizar os seus constituintes como fonte de energia, bem como para abrigo, já os agentes físicos e químicos atuam em conjunto com os primeiros, acelerando o processo de deterioração. Destes agentes, os biológicos são os mais importantes, principalmente os fungos, responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira (MEDEIROS NETO et al., 2024).

Assim também, a resistência biológica da madeira usada em sistema de construção tradicional é influenciada por sua constituição anatômica e composição química. Esses fatores determinam a durabilidade, a retração e a resistência da madeira, que são cruciais para seu desempenho em aplicações de construção. A interação entre esses elementos pode afetar a longevidade estrutural desses sistemas (PISANI, 2004; BARROS; MARSON, 2022; HOFFMANN et al., 2023).

Para compilação do trabalho, as informações foram obtidas em bases e repositórios acadêmicos e técnicos, utilizando palavras-chave como “durabilidade madeira”, “construção tradicional Moçambique”, “taipa”, “anatomia madeira” e “química madeira”. Não se limitou o tempo de busca, pela escassez de informações sobre a constituição anatômica e química das madeiras das espécies consideradas neste estudo, usadas para construções tradicionais

em Moçambique. Assim, são objeto deste estudo, *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Avicennia marina* e *Rhizophora mucronata*.

Poucas são as literaturas sobre durabilidade das madeiras usadas em construções de pau a pique em Moçambique, o que contribui para o fraco controle florestal e má aplicabilidade das madeiras. Tem-se como objetivo desta revisão, analisar a influência da constituição anatômica e composição química na resistência biológica de madeiras utilizadas em construções tradicionais (pau a pique, palhota, taipa) de Moçambique.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Em Moçambique, diversas espécies nativas são utilizadas para construções tradicionais que vem sendo melhoradas com o tempo. Neste estudo serão consideradas duas espécies de terra firme e duas de mangue (Tabela 1). As espécies foram elegíveis por sua disponibilidade, dureza e resistência. Quanto às espécies de terra firme, destaca-se a *S. madagascariensis*, considerada indispensável em virtude de sua elevada resistência, sendo comumente empregada como elemento estrutural, especialmente em pilares e vigas. Por sua vez, a espécie *P. angolensis* tem sido preferencialmente utilizada na confecção de vigas, portas, janelas e respectivos aros (MACKENZIE, 2006).

Dentre as espécies de mangue eleitas neste estudo, a preferência para construção de habitações tradicionais na Zambézia, Moçambique, tem sido a madeira do gênero *Rizophora*, usadas principalmente para estruturas de pilar e viga, em detrimento do gênero *Avicennia*, de diâmetros diferentes, são usados para preenchimento da parede e do teto (CHIBITE, 2002). Mas porque o ecossistema está sujeito a diferentes níveis de impacto humano e natural (MIGUEL et al., 2024), a *R. mucronata* tende a escassear quando comparado com a *A. marina*.

No entanto, nem sempre é garantida a presença de espécies de terra firme nas edificações, sobretudo em contextos de áreas com maior vulnerabilidade socioeconômica (NICÚMUA, 2021), uma vez que são classificadas como madeiras de primeira classe em Moçambique, possuindo, portanto, elevado valor comercial (MOÇAMBIQUE, 2002). Assim, fazem parte das espécies mais procuradas e utilizadas, portanto, a sua disponibilidade está diminuindo rapidamente nas florestas moçambicanas (ALI et al., 2008).

Tabela 1. Características básicas das espécies

Família	Espécie	Nome vulgar	Diâmetro mínimo (cm)	Utilizações	Durabilidade
Fabaceae	<i>Pterocarpus angolensis</i>	Umbila, Mbila, Mucurambira	40	construção, carpintaria, mobiliário, parquet e folheados, escultura, tornearia, embarcações, portas, janelas, utensílios domésticos	Durável, o cerne é resistente a brocas e cupins
Fabaceae	<i>Swartzia madagascariensis</i>	Pau ferro, Snake bean, Nhaquat, Cimbe	30	Construção pesada, dormentes, soalhos, tornearia, escultura	Durável, resistente à térmitas
Avicenniaceae	<i>Avicennia marina</i>	Mangue branco, Inveve	30	Lenha, carvão, Construções leves	Durabilidade baixa, suscetível a fungos e térmitas
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mucronata</i>	Mangue encarnado, Mucandarra	30	construção, construção naval artesanal, lenha, carvão de alta qualidade, armadilhas para peixes, estacas, postes, tanino	Durabilidade moderada a boa em ambientes alagados e baixa fora da água

Fonte: Autoria própria.

3. ASPECTOS ANATÔMICOS E SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA

A densidade da madeira, a espessura da parede celular, o diâmetro dos vasos e a presença de parênquima são fatores anatômicos que influenciam a resistência a agentes xilófagos. Madeiras mais densas e com menor porosidade dificultam o acesso e o desenvolvimento de fungos e insetos (NADINE et al., 2004; BHAT et al., 2005). A densidade da madeira é uma característica importante que influencia uma série de processos ecológicos,

incluindo a resistência a danos e as taxas de crescimento. A densidade da madeira é dependente das características anatômicas (Tabela 2) associadas ao tecido condutor das árvores (xilema e floema) e da matriz de fibras na qual ocorrem (SANTINI; SCHMITZ; LOVELOCK, 2012).

Tabela 2. Densidade e retração dimensional das madeiras estudadas

Espécies	Densidade (kg m ⁻³)		Volumétrica total (%)	Retração	
	Aparente (12%)	Básica		Radial	Tangencial
<i>Pterocarpus angolensis</i>	636	558	6,40	1,00*	1,50*
<i>Swartzia madagascariensis</i>	1.112	950	11,50	-	-
<i>Avicennia marina</i>	690	656	7,70	3,50	4,00
<i>Rhizophora mucronata</i>	-	810	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de Afonso (2012) e Galvão et al. (2025). * Condição de saturada a 12% de umidade.

3.1. PTEROCARPUS ANGOLENSIS

O cerne da madeira de umbila (*P. angolensis*) varia em tons de marrom, do claro ao escuro, frequentemente com um tom avermelhado ou arroxeadado, e o albúrneo é de cor muito clara e nitidamente demarcado do cerne. Após a exposição, a madeira tende a obter uma cor marrom dourado uniforme, mas retém as estrias de cor mais escura. A textura da umbila é grosseira e uniforme (GROOME; LEES; WIGG, 1957; KUKACHKA, 1970).

A espécie de umbila é anel-porosa; os anéis de crescimento anuais não são muito distintos, mas às vezes suficientemente visíveis para serem contados em um raio (GROOME; LEES; WIGG, 1957). A madeira é caracterizada como densa, forte e resistente a ataques de insetos (GROOME; LEES; WIGG, 1957; RICHTER; DALLWITZ, 2019) e apresenta boa resistência a brocas marinhas (GROOME; LEES; WIGG, 1957; KUKACHKA, 1970).

Em termos de retração, a umbila é muito estável quando sua retração tangencial é de 1,5 e sua retração radial é de 1,0%, do verde até 12% de umidade (GROOME; LEES; WIGG, 1957). A madeira de umbila seca muito bem, mas lentamente, e é de fácil trabalhabilidade, embora a textura irregular possa causar algumas dificuldades no planejamento. A madeira tem bom acabamento e pode ser colada com facilidade. A umbila é bem processada com ferramentas manuais e mecânicas. E quanto ao uso, é uma madeira excelente, usada

principalmente para móveis, marcenaria e revestimento decorativo. Também é adequada para trabalhos de construção em geral em contato com o solo e a água do mar (KUKACHKA, 1970; RICHTER; DALLWITZ, 2019).

3.2. SWARTZIA MADAGASCARIENSIS

O cerne apresenta coloração avermelhada, com faixas de tonalidades variadas, e desenho longitudinal em ziguezague. Possui grã reversa ou ondulada, textura fina e homogênea (BUNSTER, 2006; AFONSO, 2012). Apresenta camadas de crescimento distintas por faixas de parênquima marginal; porosidade difusa, vasos em arranjo disperso com agrupamento exclusivamente solitário, placas de perfuração simples, pontoações intervasculares alternadas; parênquima axial vasicêntrico e bandas de parênquima com mais de três células de largura; raios predominantemente com uma a duas células de largura e eventualmente com três células de largura; mistura de células procumbentes e quadradas e raios estratificados (AFONSO, 2012).

Trata-se de uma madeira de alta durabilidade natural, considerada imune ao ataque de fungos e insetos. Em termos de trabalhabilidade, é classificada como de difícil usinagem, apresentando resistência ao corte, aplainamento, pregos e parafusos. Por outro lado, possui boa aderência a colas e responde bem aos acabamentos. É amplamente utilizada em construção civil, pavimentação, escultura e tornearia, sendo empregada em marcenaria com menor frequência (BUNSTER, 2006; AFONSO, 2012).

3.3. AVICENNIA MARINA

A espécie *A. marina* apresenta floema incluso, que dá a impressão de anéis de crescimento, vasos pequenos a muito pequenos, raios heterogêneos, células parenquimatosas associadas aos vasos (VIDYASAGARAN; NIBU; ANOOP, 2014).

Um estudo conduzido com *Avicennia marina* revelou variações acentuadas na densidade da madeira entre populações localizadas no Golfo de Exmouth, na Austrália Ocidental, e no Firth of Thames, na Nova Zelândia. As árvores provenientes da Austrália Ocidental, especialmente aquelas mais altas e localizadas em zonas próximas ao mar, apresentaram densidade superior à observada em indivíduos arbustivos da zona intermareal. Essa densidade mais elevada foi atribuída à presença de vasos do xilema de maior calibre associados a fibras com paredes espessas, uma configuração anatômica que contribui diretamente para o aumento da resistência da madeira (SANTINI; SCHMITZ; LOVELOCK, 2012).

Além disso, observou-se que a densidade da madeira se elevava à medida que diminuía a proporção de floema por camada de crescimento, sugerindo uma alocação estrutural favorecida à madeira densa. As taxas de crescimento das árvores também demonstraram correlação positiva tanto com o diâmetro dos vasos quanto com a densidade da madeira, indicando que *A. marina* é capaz de manter alta resistência mecânica mesmo apresentando crescimento acelerado. Isso é possível graças à combinação entre vasos amplos e fibras abundantes e espessas que sustentam a estrutura lenhosa (SANTINI; SCHMITZ; LOVELOCK, 2012).

3.4. RHIZOPHORA MUCRONATA

A exemplo da *Rhizophora mangle*, esta espécie também possui anéis de crescimento anuais (MENEZES; BERGER; WORBES, 2003; SOUZA et al., 2016; VERHEYDEN et al., 2004). Os estudos constataram que, a formação de anéis anuais está relacionada com algum grau de sazonalidade climática (SOUZA et al., 2016). A casca externa é espessa e rugosa; os feixes vasculares são dispostos radialmente, os vasos do xilema são lignificados, em menor número, grandes; a periderme é espessa; a medula consiste em mais parênquima do que esclerênquima e células de aerênquima também estão presentes, a medula apresenta tiloses (SAJIKUMAR, 2024).

Os anéis de crescimento anuais em *R. mucronata* consistem em uma camada de lenho inicial com baixa densidade de vasos, identificada visualmente como um anel escuro, e uma camada de lenho tardio com alta densidade de vasos, percebida como um anel claro. Os limites entre os anéis de lenho inicial e tardio apresentam-se de forma indistinta. A formação desses anéis, bem como sua periodicidade, demonstrou ser independentes das condições ambientais específicas dos locais analisados em duas florestas situadas ao longo da costa queniana (VERHEYDEN, et al., 2004).

Estudo realizado na costa oeste de Kerala constatou que a espécie *R. mucronata* possui vasos de tamanho grande, raios unisseriados e multisseriados, células parenquimatosas associadas aos vasos (VIDYASAGARAN; NIBU; ANOOP, 2014). E na Indonésia, mostrou que *R. mucronata* foi uma das espécies de mangue do gênero *Rhizophora* com os melhores valores de resistência mecânica da madeira (HILMI, 2018). Além disso, um outro estudo realizado no Kenya sobre as propriedades mecânica confirmou que esta espécie de mangue é material

bastante resistente que podem ser usados para reforçar matrizes de cimento (MANGURIU; OYAWA; ABUODHA, 2013).

4. INFLUÊNCIA DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA

4.1. PTEROCARPUS ANGOLENSIS

O alburno é amarelo e o cerne varia do marrom-claro ao marrom-avermelhado-escuro. O cerne é resistente a brocas e cupins, embora o alburno seja suscetível ao ataque de brocas e deva ser tratado com um inseticida. Quando cortada, a madeira libera uma seiva vermelha, pegajosa e semelhante a sangue, a seiva contém 77% de tanino. Isso deixa uma mancha permanente em tecido e, portanto, a torna um corante eficaz (ORWA et al., 2009). Estudo sobre as fibras de *P. angolensis*, apresentou os seguintes valores para sua composição química após imersão em uma solução alcalina (NaOH) a 5% por 1,5 horas, indicou extrativos 11,21%, lignina 23,46%, hemicelulose 28,24% (SETSWALO et al., 2023).

A alta concentração de tanino, aliado a presença de lignina e extrativos faz com que esta madeira seja resistente à biodegradação e pode reforçar a durabilidade, prolongando o seu tempo de uso e portanto, tornando-a viável para construções em ambientes externos principalmente.

4.2. SWARTIZIA MADAGASCARIENSIS

Faz parte das espécies com coloração mais vermelhas de Moçambique, apresentando alta densidade de madeira (BESSA et al., 2022). Geralmente, madeiras mais escuras e com mais pigmento vermelho apresentam um maior teor de extrativos (GARCIA; MARINONIO, 2016).

A coloração da madeira está associada a diversos fatores entre eles, densidade básica, estrutura da madeira e teor de extrativos, uma vez que essas variáveis são indicativas da qualidade da madeira sólida. Madeiras de maior densidade geralmente exibem maior resistência mecânica e coloração mais escura, enquanto o aumento do teor de extrativos está associado a uma melhor resistência natural contra organismos xilófagos, bem como está relacionado a madeiras mais densas (BARROS JUNIOR et al., 2024).

4.3. AVICENNIA MARINA

A madeira da espécie *A. marina* possui 4.3% de teores de cinza e 19.2% de lignina (GALVÃO et al., 2025). Uma pesquisa farmacológica revelou que de modo geral, as espécies do gênero *Avicennia* possuem atividades antimicrobianas, antioxidantes, anticancerígenas, antidiabéticas e anti-inflamatórias, atribuídas à presença de metabólitos únicos de diferentes classes químicas. Entre os compostos bioativos identificados estão alcaloides, flavonoides, fenóis, saponinas, taninos, glicosídeos e terpenoides (THATOI; SAMANTARAY; DAS, 2016). Portanto, a presença de fenóis e terpenoides na madeira pode contribuir para sua resistência à decomposição (DE DEURWAERDER, 2016).

Um estudo conduzido em Emirados Árabes Unidos revelou que, a composição química da biomassa de *A. marina* em, folhas, caule e pneupatoforos, foi média para sólidos voláteis de todas as biomassas; maior teor de açúcares, (arabinana, xylana e glucano), foi encontrado em caules e pneumatóforos e maior teor de extrativos foi encontrado nas folhas (ALMARDEAI et al., 2017).

Apesar de que na sua maioria os dados sobre a composição química da espécie são gerais, a madeira não está isenta de possuir alguma percentagem desses componentes químicos que contribuem para a durabilidade natural da madeira e que desempenham papel fundamental na resistência a decomposição. A presença de fenóis, terpenoides, sólidos voláteis e açúcares estruturais no caule, podem contribuir para a durabilidade da madeira.

4.4. RHIZOPHORA MUCRONATA

A madeira de *R. mucronata* é composta de aproximadamente 6% de extrativos, 28% de lignina, 30% de hemiceluloses e 36% de α -celulose (VERHEYDEN et al., 2005). Portanto, alto teor de lignina e presença significativa de extrativos contribuem para sua resistência ao apodrecimento e pragas. No entanto, a espécie *R. Mucronata* possui valores médios de 1.1 % de cinza e 22% de lignina (GALVÃO et al., 2025).

Esses dados indicam que a durabilidade da madeira está diretamente relacionada ao teor de lignina e à presença de extrativos, que aumentam a resistência ao apodrecimento e a pragas. Contudo, variações nos valores relatados em algumas literaturas sugerem influência de fatores como local de crescimento, idade da árvore e método de análise, podendo resultar em diferenças significativas no desempenho da madeira em condições de uso (HILL, 2006; ROWELL, 2012).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão apresentada demonstra que a vida útil da madeira é influenciada pelos constituintes anatômicos e químicos além dos fatores ambientais a eles associados. Em construções de casas tradicionais cujas estruturas, geralmente não são impregnadas e práticas de implantação de toras em contato direto com o solo, expõem o alburno, que é mais suscetível a degradação e manchas pelo ataque de agentes xilófagos.

A densidade da madeira, a espessura da parede celular, o diâmetro dos vasos e a presença de parênquima são fatores anatômicos que influenciam a resistência a agentes xilófagos. O teor de lignina e celulose afetam as propriedades físicas da madeira. A celulose aumenta a resistência mecânica e a lignina a resistência contra a degradação biológica. O estudo das especificidades anatômicas e químicas de madeiras como *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Avicennia marina*, e *Rhizophora mucronata* evidencia os desafios e as potencialidades para o uso sustentável desses recursos em ambientes tropicais e úmidos.

Conforme informações anatômicas e químicas, sobre as espécies utilizadas para construção de habitação tradicional, nas espécies de terra firme, *S. madagascariensis* é mais densa e resistente quando comparada a *P. angolensis* e espécies de mangue, a *R. mucronata* possuem melhores características que a *A. marina*.

A compreensão detalhada sobre resistência das madeiras utilizadas em construções de habitações tradicionais de Moçambique, pode contribuir para a preservação das florestas e para melhorias na qualidade das habitações, promovendo maior segurança e durabilidade das estruturas. Assim, investir em pesquisas, no manejo sustentável das espécies e no compartilhamento do conhecimento técnico pode assegurar tanto a conservação ambiental quanto o bem-estar das comunidades que dependem diretamente desses recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. I. **Uso da antracologia como instrumento de fiscalização do carvão vegetal em Moçambique**. 2012. 68p f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2012.
- ALI, A. C.; UETIMANE, E. JR.; LHATE, I. A.; TERZIEV, N. Anatomical characteristics, properties and use of traditionally used and lesser-known wood species from Mozambique: a literature review. **Wood Science and Technology**, v. 42, p. 453-472, 2008.
- ALMARDEAI, S.; BASTIDAS-OYANEDEL, J. R.; HARIS, S.; SCHMIDT, J. E. *Avicennia marina* biomass characterization towards bioproducts. **Emirates Journal of Food & Agriculture**, v. 29, n. 9, p. 710 – 715, 2017.

- BALIDY, H. J.; JACINTA. **O ambiente costeiro e marinho de Moçambique**. 2. ed. Maputo: Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (MICOA), Centro de Desenvolvimento Sustentável para as Zonas Costeiras (CDS Zonas Costeiras), 2011. 65 p.
- BARBOSA, F. M.A.; CUAMBE, C. C.; BANDEIRA, S. O. Status and distribution of mangroves in Mozambique. **South African Journal of Botany**, v. 67, n. 3, p. 393–398, 2001.
- BARROS, V. S. N.; MARSON, N. A. M. Implantação da taipa de pilão como sistema de construção alternativa, quanto ao seu impacto ambiental. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. 13, 2022.
- BARROS JUNIOR, U. O.; NUNES, S. M. V.; DE LIMA ARAUJO, S.; NETO, T. C. C.; DA SILVA, J. G. M.; LEMOS, A. V.; VIDAURRE, G. B. Variabilidade longitudinal e radial da cor da madeira de *Corymbia* e sua relação com a densidade e o teor de extrativos. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p.11595 – 11595, 2024.
- BESSA, F.; SOUSA V.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. An integrated similarity analysis of anatomical and physical wood properties of tropical species from India, Mozambique, and East Timor. **Forests**, v. 13. n.10. p.1675, 2022.
- BHAT, K. M. ; Thulasidas P. K. ; Maria Florence, E. J.; Jayaraman, K. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. **Trees: Structure and Function**, v. 19, n. 6, p. 654-660, 2005.
- BUNSTER, J. H. **Commercial timber of Mozambique: technological catalogue**. 2. ed. Maputo: Traforest Lda., 2006. 63 p.
- CHALE, D. C.; SILVA, A. J. P. Habitação rural: uma proposta da AFAMO às políticas públicas de habitação em Moçambique. **Revista UI_IPSantarém**, v. 10, n. 2, p. 138-148, 2022.
- CHIBITE, A. L. S. **Estudo sobre as causas de degradação do mangal e o nível de regeneração em Catembe**. 2002. 85 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Florestal, 2002.
- DE DEURWAERDER, H.; OKELLO, J. A.; KOEDAM, N.; SCHMITZ, N.; STEPPE, K. How are anatomical and hydraulic features of the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* influenced by siltation? **Trees**, v. 30, n. 1, p. 35-45, 2016.
- GALVÃO, M. L.; BATISTA, A. S.; NOBRE, J. R. C.; BALBONI, B. M.; SANTOS, I. S.; FERNANDES, M. E. B. Chemical, physical, and mechanical wood properties of *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) L., and *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. on the Brazilian Amazon coast. **Annals of Forest Science**, v. 82, n. 1, p. 13, 2025.
- GARCIA, R. A.; MARINONIO, G. B. Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 124–134, 2016.
- GROOME, J. S.; LEES, H. M. N.; WIGG, L. T. A summary of information on *Pterocarpus angolensis*. **Orestry Abstracts**, v 18, n.2, P.153 – 162, 1975.

- HILL, C. A. S. Wood modification: chemical, thermal and other processes. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 264p.
- HILMI, E. Mangrove landscaping using the modulus of elasticity and rupture properties to reduce coastal disaster risk. **Ocean and Coastal Management**, v. 165, p. 71–79, 2018.
- HOFFMANN, W. R.; MENDES, C. C.; MASCARO, L. P.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. Contribuição ao processo de identificação de madeiras utilizadas em edifícios históricos: aplicação no “Casarão da Rua Sete de Setembro” em Cuiabá, MT. **E&S Engineering and Science**, v. 12, n. 1, p. 15, 2023.
- HOFIÇO, N. S. A.; FLEIG, F. D. Diversity and structure of Miombo woodlands in Mozambique using a range of sampling sizes. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 5, n. 10, p. 679-690, 2015.
- HOLZ, E. **Moçambique**: perfil de habitação. Maputo: Republica de Moçambique, Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos, 2018. 135p.
- KUKACHKA, B. F. **Properties of imported tropical woods**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1970. 67 p. (Technical Bulletin, 125).
- KULOGLU, N.; OZTURK, S. D. The trace of change: traditional house. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN – ICAUD, 2., 2014. Tirana. **Proceedings...** Albania: Epoka University, 2014, p. 285:1-285:10.
- LANGA, F. J. L. **Atlas do perfil habitacional de Moçambique (1997 a 2007)**: uma abordagem do SIG. 2010. 152f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Gestão de Informação) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
- LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. **Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do Século XXI**. História da Construção: arquiteturas e técnicas construtivas. Guimarães: ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2012. p. 14. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/26503>>. Acesso em: 14 ago. 2025.
- MACKENZIE, C. **Administração da floresta na Zambézia, Moçambique**: um take-away chinês! 2006. Relatório final para FONGZA (Fórum das Organizações não Governamentais da Zambézia). 101p. Disponível em: <<https://university.open.ac.uk/technology/mozambique/sites/www.open.ac.uk/technology.mozambique/files/pics/d72157.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2025.
- MANGURIU, G.; OYAWA, W.; ABUODHA, S. Physical and mechanical properties of mangrove from Kilifi in Kenya. **Global Engineers & Technologists Review**, v. 3, n. 3, p. 1-5, 2013.
- MEDEIROS NETO, P. N.; ALMEIDA PINTO, J.; BRITO, F. M. S.; PAES, J. B.; FERREIRA, G.; CORREIA, N. P. C. M. Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira. In: ANDRADE, Jaily Kerller Batista de (org.). **Fundamentos e pesquisas em Ciências Ambientais e Agrárias**. Feira de Santana: Editora Licuri, 2024. p. 73-89.

- MENEZES, M. P. M.; BERGER, U.; WORBES, M. Annual growth rings and long-term growth patterns of mangrove trees from the Bragança peninsula, North Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 11, p. 233–242, 2003.
- MIGUEL, A. R.; BERO, J. F. R.; MIGUEL, P. N.; SOUSA, Y.L.G.; RAFAEL, N. V. *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Robinson is the most pressured species by natural and human causes in Macuse mangrove (Mozambique). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 12, n. 3, p. 51–62, 2024.
- MOÇAMBIQUE. Direcção Nacional de Floresta e Fauna Bravia. Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia. **Boletim da República, Série I, n. 22**. Moçambique: Maputo, 2002. 25p.
- NADINE, A.; BEAUCHENE, J.; FOURNIE, M.; THEVENON, M. F. Decay resistance in *Dicorynia guianensis* Amsh.: Analysis of inter-tree and intra- tree variability and relations with wood colour. **Annals of Forest Science**. v. 61, p. 373-380, 2004.
- NANVONAMUQUITXO, S. J. A.; ROJAS, F. G.; HOFIÇO, N. S. A. Desperdício de madeira na concessão florestal da indústria Sotomane na província da Zambézia, Moçambique. **Nativa**, v. 5, n. 3, p. 208–211, 2017.
- NICÚMUA, J. M. A problemática da dimensão habitacional na vila de Caia (2016-2017), Moçambique: uma questão de vulnerabilidade socioeconómica. **Revista EDUCamazônia: Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 97-111, 2021.
- ORWA, C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; JAMNADASS, R.; ANTHONY, S. **Agroforestry database: a tree reference and selection guide**. Version 4.0, 2009. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>. Acesso em: 17 mai. 2025.
- PEREIRA, C. R. **Estimating and mapping forest inventory variables using the k-NN method: Mocuba district case study - Mozambique**. 2006. 86 f. Doctoral thesis (Environmental Science and Technology) – Tuscia University, Viterbo, 2006.
- PISANI, M. A. J. Taipas: a arquitetura de terra. **Sinergia**, v. 5, n.1, p. 9–15, 2004.
- RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish**. 2000 onwards. Version: 9th April 2019. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. 703p.
- SAJIKUMAR, S. **A systematic study on the family Rhizophoraceae pers. of Kollam district, Kerala**. 2024. 125 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - University of Kerala, Kollam, 2024.
- SANTINI, N. S.; SCHMITZ, N.; LOVELOCK, C. E. Variation in wood density and anatomy in a widespread mangrove species. **Trees**, v. 26, n. 5, p. 1555 – 1563, 2012.

- SETSWALO, K.; OLADIJO, O. P.; NAMOSHE, M.; SIENGCHIN, S.; SANJAY, M. R. Insights into the effects of alkaline treatment and soaking duration on the properties of *Pterocarpus angolensis* (Mukwa) wood fibers. **Materials Today: Proceedings**, v. 77, p. 1132 – 1136, 2023.
- SOUZA, B. T.; ESTRADA, G. C.; SOARES, M. L.; CALLADO, C. H. Occurrence of annual growth rings in *Rhizophora mangle* in a region with low climate seasonality. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. Suppl 1, p. 517 – 525, 2016.
- THATOI, H.; SAMANTARAY, D.; DAS, S. K. The genus *Avicennia*, a pioneer group of dominant mangrove plant species with potential medicinal values: a review. **Frontiers in Life Science**, v. 9, n. 4, p. 267 – 291, 2016.
- VERHEYDEN, A.; HELLE, G.; SCHLESER, G. H.; DEHAIRS, F.; BEECKMAN, H.; KOEDAM, N. Annual cyclicity in high-resolution stable carbon and oxygen isotope ratios in the wood of the mangrove tree *Rhizophora mucronata*. **Plant, Cell and Environment**, v. 27, n. 12, p. 1525–1536, 2004.
- VIDYASAGARAN, K.; NIBU, K.; ANOOP, E. V. Anatomy of selected woody mangroves in the west coast of Kerala. **Indian Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 1, p. 70 – 74, 2014.

CAPÍTULO XXVII

PRINCIPAIS USOS DA MADEIRA DE MANGUEZAL EM MOÇAMBIQUE: UMA REVISÃO CONTEXTUAL

MAIN USES OF MANGROVE WOOD IN MOZAMBIQUE: A CONTEXTUAL REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.asr5320-27

Nédia Pereira Correia Mendes Correia ¹

Glaucileide Ferreira ²

Rodolpho Stephan Santos Braga ³

Oxandra Roca Riveira ⁴

Flávia Maria Silva Brito ⁵

Juarez Benigno Paes ⁶

¹ Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

² Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

³ Doutorando em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

⁴ Doutoranda em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

⁵ Pós-doutorado em Ciências Florestais. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

⁶ Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros de relevância ecológica, social e econômica, desempenhando funções essenciais na manutenção da biodiversidade e no sustento das comunidades costeiras. Em Moçambique, ocupam cerca de 40.000 hectares distribuídos ao longo de 2.700 km de costa, concentrando-se nas regiões Norte e Centro. Por muitos anos, as populações costeiras têm explorado os manguezais para múltiplos fins, como a obtenção de madeira para construção e combustível, extração de taninos, além da ocupação das áreas para construção de casas, instalação de salinas e práticas de agricultura de subsistência. Tais alterações no uso e cobertura da terra intensificam pressões antrópicas e agravam os impactos das mudanças climáticas globais. Entre os usos madeireiros, destacam-se com os mais relevantes aqueles relacionados às espécies *Avicennia marina*, *Sonneratia alba* e *Rhizophora mucronata*, empregadas na construção tradicional, produção de combustível lenhoso, utensílios domésticos, embarcações artesanais e estruturas de salinas. Essa exploração, geralmente não fiscalizada, contribui para a degradação acelerada dos manguezais, associada a fatores como expansão urbana, aquicultura e eventos climáticos extremos. A presente revisão de literatura,

estruturada em documentos nacionais e internacionais, evidencia que, apesar da importância socioeconômica da madeira de mangue, os estudos específicos sobre seu uso em Moçambique são escassos, predominando abordagens sobre a ecologia e o estado de conservação dos manguezais. Os resultados indicam a urgência de estratégias integradas de manejo sustentável, capazes de conciliar a subsistência das comunidades locais com a preservação desse ecossistema crítico e a manutenção de seus serviços ambientais.

Palavras-chave: Manguezais. Uso sustentável. Madeira de mangue.

ABSTRACT

Mangrove forests are coastal ecosystems of ecological, social, and economic importance, playing essential roles in maintaining biodiversity and supporting coastal communities. In Mozambique, they occupy 40,000 hectares along approximately 2,700 km of coastline, concentrated in the North and Central regions. For many years, coastal populations have exploited mangroves for multiple purposes, such as obtaining timber for construction and fuel, extracting tannins, and occupying the areas for housing construction, salt

pans, and subsistence farming. Such changes in land use and land cover intensify anthropogenic pressures and worsen the impacts of global climate change. Among the most important timber uses are those for the species *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, and *Rhizophora mucronata*, used in traditional construction, fuelwood production, household utensils, artisanal boats, and salt pan structures. This exploitation, generally unmonitored, contributes to the accelerated degradation of mangroves, associated with factors such as urban expansion, aquaculture, and extreme weather events. This literature review, structured on

national and international documents, shows that, despite the socioeconomic importance of mangrove timber, specific studies on its use in Mozambique are scarce, with approaches focusing primarily on the ecology and conservation status of mangroves. The results indicate the urgency of integrated sustainable management strategies capable of reconciling the livelihoods of local communities with the preservation of this critical ecosystem and the maintenance of its environmental services.

Keywords: Mangroves. Sustainable use. Mangrove timber.

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros de elevada importância ecológica, econômica e social no mundo (LEAL; SPALDING, 2024), e especialmente para países tropicais como Moçambique, cuja zona costeira com cerca de 2700km de extensão e coberta por uma área de aproximadamente 40.000 hectares de manguezais, abriga diversas comunidades que dependem diretamente dos recursos naturais nele existente (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001).

Estudos mostram que os manguezais de Moçambique passam por pressão antrópica de forma desenfreada desde mais de 30 anos (FAO, 2005; BOANHA; MADEIRA, 2024); e dentre os elementos mais explorados dos manguezais, destaca-se a madeira, utilizada para múltiplas finalidades. O uso da madeira é recorrente e historicamente enraizado nos modos de vida das populações ribeirinhas e, indiretamente pela população continental (FRANSCISCO; RIBEIRO; SITOE, 2019; CUAMBA; VIEIRA; MORGADO, 2019; LACERDA; ANDRADE, 2022; MIGUEL et al., 2024). No norte de Moçambique (município de Angoche) a unidade de mangal existente é uma das mais ameaçada pelo corte de árvores para o abastecimento de lenha e estacas de construção à cidade (ALVES; SOUSA, 2007).

As áreas de manguezais também têm sido utilizadas especialmente perto de centros de alta densidade populacional notavelmente no norte do país e perto de portos (FAO, 2005; MUCHANGA, 2022). Neste caso, o ecossistema é desmatado para dar lugar a outro tipo de uso da terra (FRANSCISCO; RIBEIRO; SITOE, 2019; BOANHA; MADEIRA, 2024).

Este trabalho é fruto de uma revisão de literatura maioritariamente moçambicana em detrimento de fontes internacionais porque o critério de inclusão levado em consideração foi o local de estudo (Moçambique) e abordagem sobre uso das madeiras de mangue. De modo

geral foram analisados 46 documentos, conforme registrados nas referências bibliográficas. O intervalo de tempo da publicação dos documentos não foi levando em consideração, atendendo que quase não existem trabalhos específicos sobre o uso da madeira de mangue no país. Quanto ao idioma, as fontes estavam disponíveis tanto na língua inglesa como na portuguesa. As informações foram organizadas em texto, tabela e imagens.

O presente trabalho tem por objetivo revisar os principais usos da madeira de mangue em Moçambique, destacando as espécies mais exploradas, os impactos socioambientais associados e os desafios para o uso sustentável desse recurso.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As florestas de mangue ocupam uma extensão aproximada de 147.000 km² no mundo, segundo dados da Global Mangrove Watch – Versão 3.0, atualizados em 2022. A área mais extensa de mangais pode ser encontrada no Sudeste Asiático, e apenas a Indonésia compreende um quinto do total global. Em conjunto, a Indonésia, o Brasil, a Austrália, o México e a Nigéria abrigam quase metade dos mangais do mundo (LEAL; SPALDING, 2024).

No Brasil, os manguezais acompanham a zona costeira, e possui cerca de 9.200 km de extensão (NICOLODI; PETERMANN, 2010). Na África, destaca-se o litoral oriental da África do Sul, onde os manguezais ocorrem em 37 estuários, lagoas e bacias de maré, e aproximadamente 75% das áreas de mangue estão concentradas nos estuários na província de KwaZulu-Natal (NAIDOO, 2016).

Moçambique possui a segunda maior área de manguezal da África (AQUINO et al., 2018), distribuída ao longo da costa moçambicana e cobre uma área de aproximadamente 40.000 hectares (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; BALIDY; JACINTA, 2011). Os mangais ocorrem em quase todas as fozes de rios, baías e lagoas abrigadas do país, sendo mais comuns no Norte sendo mais extensas em direção ao sul. As maiores concentrações encontram-se na região central, nos deltas e estuários de grandes rios, especialmente no delta inferior do Zambeze, cuja vegetação se estende até o município da Beira. No extremo sul, destacam-se os manguezais bem desenvolvidos ao longo da costa da Baía de Maputo (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; FAO, 2005).

No entanto, muitas pequenas nações insulares têm áreas de mangais comparativamente pequenas ou isoladas. Mesmo assim, os mangais fornecem serviços

ambientais essenciais e desempenham um papel fundamental na manutenção da integridade do ecossistema local em todos estes sítios (LEAL; SPALDING, 2024).

As florestas de mangais são formadas por árvores que se adaptaram a viver em áreas interditais quentes do mundo onde as águas sejam suficientemente calmas e haja sedimentos suficientes para criar raízes. Podem ser encontradas em zonas tropicais e subtropicais por todo o mundo, crescendo principalmente em deltas, estuários fluviais, lagoas e margens abrigadas em vasta faixa ao redor do planeta, e são de uma importância crucial para a biodiversidade e para as pessoas (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; MARTIN; BURGESS, 2020).

De acordo com o relatório “O Estado dos Manguezais pelo Mundo 2021”, existem aproximadamente 70 espécies de árvores e arbustos que compõem as principais plantas de mangue (LEAL; SPALDING, 2024). Existem nove espécies de árvores de mangal em Moçambique, como *Avicennia marina*, família Avicenniaceae, as espécies *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal* e *Rhizophora mucronata*, família Rhizophoraceae, a *Heritiera littoralis*, família Sterculiaceae, a *Lumnitzera racemosa*, família Combretaceae, a *Sonneratia alba*, família Sonneratiaceae, e *Xylocarpus granatum* e *Xylocarpus molucce*, família Meliaceae (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; BALIDY et al., 2005; MARTIN; BURGESS, 2020; MACAMO et al., 2021; DARBYSHIRE et al., 2023; MIGUEL et al., 2024).

Além das nove espécies de mangais verdadeiras, existem várias outras associadas que apresentam alguma tolerância a este tipo particular de ambiente, embora careçam de adaptações específicas, das quais fazem parte, *Pemphis acidula*, *Phoenix reclinata*, *Brexia madagascariensis*, *Foetida oblíqua*, *Hibiscus tiliaceus*, *Terminalia catappa*, *Thespesia populnea*, *Arthrocnemum*, *Salicornia*, *Suaeda* e *Sesuvium portulacastrum* (MACAMO et al., 2021). As espécies registadas em Moçambique representam cerca de 19% da verdadeira diversidade global de manguezais (BEENTJE; BANDEIRA, 2007; SPALDING; KAINUMA; COLLINS, 2010).

Embora a cobertura dos manguezais apresente estabilidade desde 1982, sua conservação tem sido comprometida por fatores como o assoreamento dos estuários, resultado da degradação e conversão desses ecossistemas para fins aquícolas, salinas e agrícolas, além da exploração madeireira e da ausência de proteção legal efetiva (ADAMS; COLLOTY; BATE, 2004; MARTIN; BURGESS, 2020), evidenciando a necessidade de uma reavaliação mais precisa da distribuição dessa floresta (DINIZ et al., 2019), descrita como o

ecossistema mais criticamente ameaçado do mundo (MARTIN; BURGESS, 2020; DUARTE; MATIMELE; COSTA, 2021).

Por milhares de anos, as populações costeiras têm explorado os manguezais para obtenção de madeira e combustível ao longo do litoral da África Oriental. Esse comércio persiste até os dias atuais, envolvendo grandes centros urbanos da região continental, bem como Zanzibar e o Oriente Médio. Além disso, muitas árvores de manguezais são removidas com finalidade madeireira para a construção de casas, combustível doméstico e defumação de peixes, bem como para obtenção de taninos. O que resulta no desmatamento de grandes áreas de manguezais na região (MARTIN; BURGESS, 2020).

Moçambique não é exceção a essa prática, enfrentando uma pressão considerável sobre os ecossistemas de manguezal. A pressão decorre, principalmente, da exploração intensiva dos usos diretos que incluem bens extraíveis, como madeira, estacas, lenha. Produtos utilizados para consumo doméstico e comércio, embora a exploração comercial da madeira de mangue não seja permitida por lei. Além da instalação de salinas, agricultura de subsistência, alterações no uso e cobertura da terra, e dos impactos das mudanças climáticas globais (FRANCISCO; RIBEIRO; SITOE, 2019; MACAMO et al., 2021).

O fato de esse ecossistema ser frequentemente degradado por diversas atividades humanas reforça a urgência de estudos (MIGUEL et al., 2024) diversos, dentre os quais os direcionados às espécies madeireiras do mangue, visando compreender seu potencial de uso e contribuir para estratégias de conservação.

Porém, de modo geral, estudos sobre usos de madeira de mangue em Moçambique são limitados. Portanto, muitas vezes os estudos são focados em aspectos socioeconômicos gerais e degradação dos manguezais. Assim, dentre os trabalhos publicados que abordam de forma genérica sobre usos da madeira de manguezal em Moçambique enfocam as distribuição das espécies e cobertura do mangue (FRANCISCO; RIBEIRO; SITOE, 2019; BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001, DARBYSHIRE et al., 2023; BOANHA; MADEIRA, 2024; MIGUEL et al., 2024), condição ecológica e biomassa da floresta (CUAMBA; VIEIRA; MORGADO, 2019, MACAMO, et al., 2021), socioeconômica e estrutura de conservação (DUARTE; MATIMELE; COSTA, 2021; MACAMO et al., 2021; PEREIRA, 2023; MACAMO et al., 2024); e atividades antrópicas (MACAMO, et al., 2021; LACERDA; ANDRADE, 2022; MUCHANGA, 2022).

3. PRINCIPAIS USOS DE MADEIRA E AMEAÇAS

Construção tradicional e combustível vegetal é a principal forma de utilização da madeira de mangue (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; DARBYSHIRE et al., 2023). A madeira de mangue é valorizada por sua resistência, durabilidade e fácil acesso (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; BALIDY; JACINTA, 2011; MARTIN; BURGESS, 2020). A madeira também é empregada para produção de utensílios domésticos, cercas ou barragens de pesca e embarcações artesanais (CAPAINA, 2021), Tabela 1. No entanto, o uso intensivo e, geralmente não fiscalizado dos recursos tem contribuído para a degradação acelerada dos manguezais (FAO, 2005; BOANHA; MADEIRA, 2024).

3.1. COMBUSTÍVEL VEGETAL

Na África três grandes tipos de combustíveis lenhosos são consumidos, nomeadamente, lenha, que representa cerca de 75% do consumo total da madeira como combustível. Os restantes 25% são de madeira transformada em carvão vegetal (Figura 1.A), uma prática concentrada nas cidades e vilas. O uso de resíduos à base de combustíveis da madeira, como serragem, briquetes, sobras e resíduos agrícolas, é pequena e geralmente limitada a indústria (MERCER et al., 2011; FERNANDES, 2014).

Portanto, os combustíveis lenhosos da florestal natural são a principal fonte de energia para a população Moçambicana suprir suas necessidades energéticas diárias (FALCÃO, 2008). O consumo doméstico situa-se entre 0,9 e 1 m³ de biomassa lenhosa per capita (BROUWER; FALCÃO, 2004), O consumo médio estimado apenas para os consumidores de lenha e carvão é de 1.196 toneladas per capita por ano (MOÇAMBIQUE, 2007). Os combustíveis lenhosos provenientes das florestas naturais (de terra firme ou de mangue), constituem a principal fonte de energia utilizada pela população moçambicana para a realização de diversas atividades, como cozinhar, aquecer, secar peixe e carne e assar pão (FERNANDES, 2014).

Tabela 1. Principais formas de uso de madeiras de mangue em Moçambique.

Autor (Ano)		Usos principais	Assunto
Saket; Matusse (1994)		Combustível vegetal, construção, móveis, salinas	Estudo para a determinação da taxa de desmatamento da vegetação de manguezal em Moçambique.
Barbosa; Cuambe; Bandeira (2001)		Combustível vegetal, construção	Status and distribution of mangroves in Mozambique



Autor (Ano)	Usos principais	Assunto
Alves; Sousa (2007)	Combustível vegetal, construção,	Avaliação preliminar da vegetação costeira e dos mangais existente na área proposta conservação no arquipélago das ilhas primárias (1 as) e segundas (2 as).
Macamo; Siteo (2017)	Combustível vegetal, construção, barcos, salinas.	Relatório de Governação Ambiental 2016 - Governação e gestão de mangais em Moçambique.
Francisco; Ribeiro; Siteo (2019)	Combustível vegetal, construção, barcos, moveis	Análise de Mudança de Cobertura do Mangal na Baía de Sofala, Moçambique
Cuamba; Vieira; Morgado (2019)	Combustível vegetal, construção, barcos, moveis	Condição ecológica e biomassa da floresta de mangal da baía de Quionga no contexto das alterações climáticas (Norte de Moçambique).
Macamo et al. (2021)	Combustível vegetal, construção, barcos, utensílios domésticos, móveis, extração de taninos.	Avaliação Socioeconômica e Estrutura de Conservação de Manguezais em Moçambique
Duarte; Matimele; Costa (2021)	Combustível vegetal, construção	Áreas-chave para a biodiversidade (KBAs) identificadas em Moçambique: Lista vermelha de espécies ameaçadas e ecossistemas, identificação e mapeamento de áreas-chave para a biodiversidade (KBAs) em Moçambique
Esquinar (2022)	Combustível vegetal, construção, moveis,	Os valores sociais, económicos e ambientais atribuídos aos ecossistemas dos Mangais nas zonas urbanas - Caso do Mangal da Zona da Costa do Sol, Cidade de Maputo
Lacerda; Andrade (2022)	Combustível vegetal, construção, moveis, barcos	Análise das atividades antrópicas nas florestas de mangal em Macuse, centro de Moçambique.
Pereira (2023)	Subsistência e geração de renda.	Como é que os mangais contribuem para o desenvolvimento social e económico das comunidades locais de Inhambane.
Litulo et al. (2023)	Combustível lenhoso, construção, salina, barco, postes	Estudo sobre os mangais do Distrito da Matola e Estuário do Espírito Santo, Baía de Maputo
Darbyshire et al. (2023)	Combustível lenhoso, construção	As áreas importantes de plantas de Moçambique

Fonte: Autoria própria.

3.2. CONSTRUÇÃO

A madeira de mangal serve para construção de habitação (do tipo palhota, mistas e básicas) e de cercas, construção de salinas, produção de móveis. Geralmente, os materiais usados para construção são uma mistura de espécies provenientes do ecossistema de terra

firme e do manguezal. Portanto, além da madeira, estaca (Figura 1.B), bambu e caniço podem ser usados nas construções (MACIE, 2016; HOLZ, 2018).

Portanto, palhotas (Figura 1.C, D, E) também designadas casas tradicionais, caracterizam-se por apresentar paredes construídas com caniço, varas, madeira ou tiras de bambu, revestidas com lama ou cobertas com grama ou palha, e por telhados de colmo compostos por grama, juncos ou palha (SOARES, 2009).

Somente 1,6% da população em Moçambique vive em habitações totalmente construídas com materiais convencionais (concreto, tijolos e telhas). O tipo de habitação predominante é a palhota (casas de tipo cabana), que representa mais de 2/3 das habitações, seguidas de casas mistas (mistura de materiais convencionais e tradicionais) e casas básicas com 17% e 11,4%, respetivamente. No entanto, as palhotas predominam nas áreas rurais (até 80%), enquanto uma mistura de moradias básicas, de material misto e convencional somam cerca de 65% das unidades urbanas (HOLZ, 2018).

A madeira de mangue é usada para demarcação, divisória dos compartimentos, diques, pontes, abrigos, comportas para mares, instrumentos de produção ou limpeza (pás, ancinhos, rodo, ferramentas de transporte), combustível lenhoso (TAYLOR; RAVILIOUS; GREEN, 2003; MACINTOSH; ASHTON, 2005; QUITÉRIO, 2016; HAMZA et al., 2020) em Salinas, que são áreas antropizadas que originam ecossistemas com hipersalinidade residual no solo, o que compromete a capacidade de regeneração natural da vegetação de mangue (BRASIL, 2002).

3.3. EMBARCAÇÕES

A frota de pesca de Moçambique é dividida em três segmentos principais, de acordo com o tamanho e as características técnicas das embarcações: artesanal, semi-industrial e industrial. E a madeira é utilizada para frota ou casco em embarcações artesanal e semi-industrial. No entanto, a pesca artesanal é constituída por embarcações maioritariamente de madeira, agrupadas em canoas (almadias) (Figura 1.F), chatas e lanchas, com ou sem motor, com destaque para o remo (principal meio de propulsão) também de madeira (CAPAINA, 2021). Geralmente, tanto a embarcação de madeira como o remo são feitos artesanalmente com ferramentas simples.

Figura 1 – Alguns exemplos de uso da madeira de mangue em Moçambique: (A) Estaleiro de carvão, (B) madeira e estaca, (C) habitação a pau a pique em construção, (D) habitação a pau a pique coberta com chapas de zinco, (E) habitação de palhota circular e (F) canoa (almadia), barco de pesca tradicional comumente usados pelos pescadores.



Fonte: A e B (NAZARE et al., 2019), C e D (MÁRIO; CHERENE, 2021), E MACIE, 2016, e F (ALVES; SOUSA, 2007).

4. ESPÉCIES MADEIREIRAS MAIS EXPLORADAS

Várias são as espécies de mangue mencionadas utilizadas para suprir diversas necessidades da população moçambicana. As espécies mais citadas como fonte de madeira, em ordem decrescente de uso, são *Avicennia marina*, *Sonneratia alba* e *Rhizophora mucronata*. Em contrapartida, as menos mencionadas são *Xylocarpus moluccensis* e *Heritiera littoralis*. Isto ocorre porque muitos dos estudos sobre o ecossistema de mangue de Moçambique são generalizados e as principais finalidades madeireiras mencionadas são construção, lenha ou carvão, moveis, estacas e postes (BARBOSA; CUAMBE; BANDEIRA, 2001; MOÇAMBIQUE, 2007; ALVES; SOUSA, 2007; NAZARE et al., 2019; MACAMO, C. et al., 2021; LITULO et al., 2023; COME et al., 2023).

A espécie *A. marina* foi a mais destacada porque está presente em toda costa moçambicana, portanto, é disponível à população, por sua vez, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Xylocarpus granatum* têm sido escolhidas por apresentarem boa resistência mecânica, durabilidade e densidade (BALIDY et al., 2005; FRANSCISCO; RIBEIRO; SITOE, 2019; MACAMO et al., 2021).

5. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DO USO DE MADEIRA DE MANGUE E OS DESAFIOS

As florestas de mangue de Moçambique passam por pressão antrópica como extração madeireira insustentável (para combustível vegetal, construção e produção de moveis), desmatamento (que dão outros destinos a área – expansão urbana, aquicultura, salinas artesanais), bem como pressão natural que muitas vezes é consequência da primeira ação (erosão, ciclones), acelerando assim a degradação acelerada do ecossistema.

Assim sendo, o uso sustentável da madeira de mangue teria os seguintes desafios: (i) equilibrar a subsistência das comunidades dependentes do mangue limitando os cortes de acordo com a taxa de regeneração; (ii) articular políticas setoriais, como portos, turismo, aquicultura, ordenamento urbano, de modo a reduzir impactos cumulativos e criar zonas de exclusão ao corte; e (iii) incorporar medidas de adaptação / restauração que acelerem a recuperação pós-ciclone e mantenham a função de barreira natural contra inundações costeiras (MACAMO et al., 2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira de mangue é fonte de subsistência para a maioria da população moçambicana, principalmente para a comunidade ribeirinha. A madeira fornece combustível vegetal (lenha e carvão), material para construção de habitação, embarcações, salinas artesanais, cercas (estacas, vigas e pranchas). A frequência de utilidade reflete a disponibilidade, resistência mecânica e biológica e densidade da madeira. As principais espécies exploradas dentre as mencionadas são *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal*, *Bruguiera gymnorrhiza* e *Sonneratia alba*.

Portanto, a madeira de mangue contribui para o desenvolvimento socioeconômico da população ribeirinha e continental, porém a sua disponibilidade futura está dependente de ações conjuntas entre a comunidade e a comunidade no geral (o governo e o setor privado). Ações como limites de corte da madeira de mangue e estratégias sociais ativas podem contribuir para a restauração e consequentemente a conservação desse ecossistema.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. B.; COLLOTY, B. M.; BATE, G. C. The distribution and state of mangroves along the coast of Transkei, Eastern Cape Province, South Africa. **Wetlands Ecology and Management**, v. 12, n. 5, p. 531–541, 2004.
- ALVES, T.; SOUSA, C. **Avaliação preliminar da vegetação costeira e dos mangais existente na área proposta conservação no arquipélago das Ilhas primárias (1as) e secundárias (2as)**. Nampula/Zambézia: IIAM – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, 2007. 90p.
- AQUINO, A.; LIM, C.; KAECHLE, K.; TAQUIDIR, M. **Notas sobre a floresta em Moçambique**. Sverige: Grupo Banco Mundial, 2018. 34p.
- BALIDY, H. J.; JACINTA. **O ambiente costeiro e marinho de Moçambique**. 2. ed. Maputo: República de Moçambique Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental Centro de Desenvolvimento Sustentável para as Zonas Costeiras, 2011. 61p.
- BALIDY, H. J. ; SITOE, A.; MENOMUSSANGA, M.; PIRES, E. P. L. **Avaliação dos níveis de corte, composição específica e regeneração natural de mangal no Sul de Moçambique**. República de Moçambique Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental Centro de Desenvolvimento Sustentável para as Zonas Costeiras, 2005. 20p.
- BARBOSA, F. M. A.; CUAMBE, C. C.; BANDEIRA, S. O. Status and distribution of mangroves in Mozambique. **South African Journal of Botany**, v. 67, n. 3, p. 393–398, 2001.
- BEENTJE, H.; BANDEIRA, S. O. **Field guide to the mangrove trees of Africa and Madagascar**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2007. 91p.

- BOANHA, B. J.; MADEIRA, Ó. J. Variação temporal e espacial da cobertura do mangue (mangal) na Baía de Sofala (Moçambique). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.5, n.3, p. 2–9, 2024.
- BRASIL. **Resolução nº 02/2002 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA)**. Fortaleza: Secretaria da Ouvidoria-Geral e do Meio Ambiente, 2002. 4p.
- BROUWER, R.; FALCÃO, P. Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique. **Biomass & Bioenergy**, v. 27, p. 233–245, 2004.
- CAPAINA, N. **Caracterização do sector das pescas em Moçambique**. Maputo: Observatório do Meio Rural 2021. 42p. (Observador Rural, 100).
- COME, J.; PEER, N.; NHAMUSSUA, J. L.; MIRANDA, N. A. F.; MACAMO, C. C. F.; CABRAL, A.S.; MADIVADUA, H.; ZACARIAS, D.; NARCISO, J.; SNOW, B. A socio-ecological survey in Inhambane Bay mangrove ecosystems: Biodiversity, livelihoods, and conservation. **Ocean and Coastal Management**, v. 244, p. 106813, 2023.
- CUAMBA, E.; VIEIRA, L. R.; MORGADO, F. M. R. Ecological condition and biomass of quionga bay mangrove forest in the context of climate change (Northern Mozambique). **Revista Captar: ciência e ambiente para todos**, v. 8, n. 1, p. 76-96, 2019.
- DARBYSHIRE, I.; RICHARDS, S.; OSBORNE, J.; MATIMELE, H.; LANGA, C.; DATIZUA, C.; MASSINGUE, A.; ROKNI, S.; WILLIAMS, J.; ALVES, T.; SOUSA, C. **As áreas importantes de plantas de Moçambique**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2024. 434p.
- DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Brazilian mangrove status: Three decades of satellite data analysis. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 808, 2019.
- DUARTE, E.; MATIMELE, H.; COSTA, H. Áreas-chave para a biodiversidade (KBAS) identificadas em Moçambique: Fichas Técnicas V. II. Maputo: Wildlife Conservation Society, 2021. 70p.
- ESQUINAR, P. M. **Os valores sociais, económicos e ambientais atribuídos aos ecossistemas dos Mangais nas zonas urbanas - Caso do Mangal da Zona da Costa do Sol, Cidade de Maputo**. 2022. 128 f. Dissertação (Mestrado em Cidadania Ambiental e Participação) - Universidade Aberta, Lisboa, 2022.
- FALCÃO, M. P. **Charcoal production and use in Mozambique, Malawi, Tanzania, and Zambia: historical overview , present situation and outlook**. Maputo: Eduardo Mondlane University, 2008. 27p.
- FAO. **Global forest resources assessment 2005: Thematic study on mangroves. Mozambique country profile**. Rome: Forest Resources Development Service Forest Resources Division Forestry, Forestry Department FAO, 2005.10p.
- FERNANDES, A. dos M. **Análise da produção de madeira para o fornecimento sustentável de energia doméstica aos centros urbanos de Moçambique**. 2014, 138f. Tese

- (Doutourado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- FRANSCISCO, L.; RIBEIRO, N.; SITO, A. Análise de mudança de cobertura do mangal na Baía de Sofala, Moçambique. **Revista Captar: ciência e ambiente para todos**, 2019. p. 51–60.
- HAMZA, A. J.; ESTEVES, L. S.; CVITANOVIC, M.; KAIRO, J. Past and present utilization of mangrove resources in Eastern Africa and drivers of change. **Journal of Coastal Research**, v. 95, n. SI, p. 39–44, 2020.
- HOLZ, E. **Moçambique: perfil de habitação**. Maputo: Republica de Moçambique, Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos, 2018. 135p.
- LACERDA, A.; ANDRADE, A. C. Análise das atividades antrópicas nas florestas de mangal em Macuse, centro de Moçambique. **Natural Resources**, v. 12, n. 1, p. 159–169, 2022.
- LEAL, M.; SPALDING, M. D. (Eds.). **The state of the world's mangroves 2024**. S.l.: Global Mangrove Alliance, 2024. 71p.
- LITULO, C.; FERNANDES, R.; SOARES, M. G.; PEREIRA, M. A. M. **Estudo sobre os mangais do Distrito da Matola e Estuário do Espírito Santo , Baía de Maputo Matola**. Maputo: Fundação Likhulu para Conservação Marinha, 2023. 115p.
- MACAMO, C. D. C. F.; INÁCIO DA COSTA, F.; BANDEIRA, S.; ADAMS, J. B.; BALIDY, H. J. Mangrove community-based management in Eastern Africa: experiences from rural Mozambique. **Frontiers in Marine Science**, v. 11, p. 1337678, 2024.
- MACAMO C.; MAHANZULE R.; BANDEIRA S.; BALIDY H.; MACHAVA V. **Mangrove socioeconomic evaluation and conservation framework in Mozambique**. Berlin: Umweltstiftung WWF, 2021.
- MACAMO, C.; SITO, A. **Relatório de Governança Ambiental 2016: Governança e gestão de mangais em Moçambique**. Maputo: Centro Terra Viva. 2017. 79p.
- MACAMO, C.; NICOLAU, D.; MACHAVA, V.; CHITARÁ, S.; BANDEIRA, S. **A contribution to Mozambique's biodiversity offsetting scheme: Framework to assess the ecological condition of mangrove forests**. Maputo: BIOFUND, 2021. 104p. (BIOFUND Final Report, Mozambique).
- MACIE, E. G. T. Estudo didático: exploratório da Matemática envolvida na construção de palhotas em Xai-Xai. **UDZIWI, Revista de educação da Universidade Pedagógica**, v. 7, n. 26, p. 180–190, 2016.
- MACINTOSH, D. J.; ASHTON, E. C. **Princípios para um código de conduta para o manejo e uso sustentável de ecossistemas de mangue**. Danvers: Banco Mundial, ISME, cenTER Aarhus, 2005. 116p.

- MÁRIO, C. J.; CHERENE, I. M. M. Proposta para melhoria das técnicas de construção em habitações feitas a pau a pique local de estudo: Bairro Maringanha. Pemba: Universidade Lúrio, 2021. 20 f.
- MARTIN, E.; BURGESS, N. **East African Mangroves**. First published: 2020. Disponível em: <<https://www.oneearth.org/ecoregions/east-african-mangroves/>>. Acesso em: 13 maio 2025.
- MERCER, B.; FINIGHAN, J.; SEMBRES T.; SCHAEFER, J. **Protecting and restoring forest carbon in tropical Africa**. Winchelsea: Forests Philanthropy Action Network - FPAN, 2011. 35p.
- MIGUEL, A. R.; BERO, J. F. R.; MIGUEL, P. N.; SOUSA, Y.L.G.; RAFAEL, N. V. *Cerriops tagal* (Perr.) C.B. Robinson is the most pressured species by natural and human causes in Macuse mangrove (Mozambique). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 12, n. 3, p. 51–62, 2024.
- MOÇAMBIQUE. Ministério da Energia. **Avaliação dos níveis de consumo da energia de biomassa nas províncias de Tete, Nampula, Zambézia, Sofala, Gaza e Maputo**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2007. 50p. (Relatório Final).
- MUCHANGA, E. M. Luxury development versus mangroves: environmental education could be the key in Mozambique. **Magazine Independente**, v. 33, n. 1, p. 1–12, 2022.
- NAIDOO, G. The mangroves of South Africa : An ecophysiological review. **South African Journal of Botany**, v. 107, p. 101–113, 2016.
- NAZARE, P.; RAZÃO, E; MIGUEL. A; ARMANDO, D; ARMAZIA, R; SITOLE, J; FILIPE, J. Estado do mangal de Majante , Muarua (Quelimane) e Errecamba (Inhassunge) nos anos de 2002 , 2009 e 2017 na Zambézia. Maputo: Fundação para a Conservação da Biodiversidade – BIOFUND, 2019. 13p.
- NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental , social , and technological aspects. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 12–32, 2010.
- PEREIRA, S. S. Como é que os mangais contribuem para o desenvolvimento social e económico das comunidades locais de Inhambane. **Revista de Estudos AntiUtilitaristas e PosColoniais**, v. 13, p. 1–29, 2023.
- QUITÉRIO, N, F. **Territórios , recursos naturais e salinas . as técnicas tradicionais de produção de sal e a sua valorização patrimonial e turística . O caso da Salina Municipal do Corredor da Cobra (Núcleo Museológico do Sal) , Figueira da Foz**. 2016. 276 f. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2016. (Relatório de Estágio).
- SAKET, M.; MATUSSE, R. M. **Estudo da Taxa de Desflorestamento da Vegetação de Mangal em Moçambique**. **FAO/PNUD**. MOZ/92/013, Unidade de Inventário Florestal (DNFFB), Ministério da Agricultura, Maputo, 1994.

- SOARES, D. B. **The incorporation of the geometry involved in the traditional house building in mathematics education in Mozambique: The cases of Zambezia and Sofala provinces**. 2009. 352 f. Tese (PhD in Education) - University of the Western Cape, Cape Town, 2009.
- SPALDING, M.; KAINUMA, M.; COLLINS, L. **World Atlas of Mangroves**. London: Routledge, 2010. 319p.
- TAYLOR, M.; RAVILIOUS, C.; GREEN, E. P. **Mangroves of East Africa**. Cambridge: UNEP, World Conservation Monitoring Centre, 2003. 26p.

CAPÍTULO XXVIII

MINERAÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS NO ESTADO DO AMAPÁ: UMA REVISÃO

MINING AND ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE STATE OF AMAPÁ: A REVIEW

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-28

Andrio Luiz Miranda de Souza¹

Orleno Marques da Silva Júnior²

Julieta Bramorski³

Maria Eduarda Miranda de Souza⁴

Caio Walker Souza Santana⁵

¹ Graduando do curso de Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

² Pesquisador do Instituto de Pesquisas do Amapá. Professor do Programa de Pós Graduação em Geografia da UNIFAP – PPGeo/UNIFAP

³ Professora Titular do Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento - DMAD. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

⁴ Graduando do curso de Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

⁵ Graduando do curso de Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

RESUMO

A mineração, enquanto atividade extrativista de relevância socioeconômica, tem marcado a história do desenvolvimento regional no Brasil e na Amazônia. No entanto, sua expansão tem gerado impactos significativos nos recursos naturais, especialmente nas bacias hidrográficas. O presente trabalho tem como objetivo analisar, a partir de levantamento bibliográfico e cienciometria, os efeitos da mineração industrial e artesanal sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres, considerando exemplos nacionais e internacionais. Foram identificados impactos no meio físico, como assoreamento, poluição dos corpos hídricos, supressão vegetal e descaracterização da paisagem, além de efeitos na biota aquática, com destaque para a contaminação por metais pesados. Estudos de casos emblemáticos, como os rompimentos de barragens em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), evidenciam a magnitude dos desastres associados à mineração industrial. Na Amazônia, experiências históricas, como a exploração em Serra do Navio (Amapá) e no lago Batata (Pará), revelam a persistência de passivos ambientais e sociais. No estado do Amapá, empreendimentos como a Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL), a Indústria e Comércio de Minérios S/A (ICOMI) e a Caulim da Amazônia S/A

(CADAM) exemplificam como os impactos da mineração se estendem de montante à jusante, alcançando estuários e zonas costeiras. Os resultados indicam que a ausência de planejamento ambiental eficaz e de gestão integrada de bacias intensifica a vulnerabilidade de comunidades locais e ecossistemas. Assim, a análise reforça a necessidade de políticas públicas e instrumentos de gestão que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

Palavras-chave: Mineração. Impactos ambientais. Bacias hidrográficas. Amazônia. Amapá.

ABSTRACT

Mining, as an extractive activity of socioeconomic relevance, has marked the history of regional development in Brazil and the Amazon. However, its expansion has generated significant impacts on natural resources, especially in river basins. This paper aims to analyze, based on a bibliographic survey and scientometrics, the effects of industrial and artisanal mining on aquatic and terrestrial ecosystems, considering national and international examples. Impacts on the physical environment were identified, such as siltation, water pollution, vegetation suppression, and landscape defacement, as well as effects on aquatic biota, particularly

heavy metal contamination. Studies of emblematic cases, such as the dam failures in Mariana (2015) and Brumadinho (2019), highlight the magnitude of disasters associated with industrial mining. In the Amazon, historical experiences, such as mining in Serra do Navio (Amapá) and Lake Batata (Pará), reveal the persistence of environmental and social liabilities. In the state of Amapá, enterprises such as the Lourenço Garimpeiros Mining Cooperative (COOGAL), Indústria e Comércio de Minérios S/A (ICOMI), and Caulim da Amazônia S/A (CADAM) exemplify how the impacts of mining extend from

upstream to downstream, reaching estuaries and coastal areas. The results indicate that the lack of effective environmental planning and integrated watershed management intensifies the vulnerability of local communities and ecosystems. Thus, the analysis reinforces the need for public policies and management instruments that reconcile economic development and environmental conservation.

Keywords: Mining. Environmental impacts. River basins. Amazon. Amapá.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade extrativista que pode proporcionar grande potencial de desenvolvimento regional para os setores socioeconômico e industrial (Oliveira, 2011). Além disso, está diretamente ligada às relações e o modo de vida na modernidade, vistas como "estrategicamente importante para a competitividade do setor de indústrias e essenciais para o bem-estar e o desenvolvimento econômico das populações, os minerais estão na base das sociedades modernas" (Mancini e Sala, 2018).

Apesar da expressiva relevância para o desenvolvimento socioeconômico, a mineração também gera impactos negativos no meio ambiente, como a perda da biodiversidade, remoção da cobertura vegetal e a alteração das condições estéticas e sanitárias do ambiente, comprometendo a qualidade dos recursos naturais e afetando, de forma direta ou indireta, a saúde humana (Farias, 2002; Hatje et al., 2017). Além disso, provocam a poluição dos recursos hídricos e a degradação dos solos, cujos efeitos são, muitas vezes, agravados por processos que ocorrem ao longo das bacias hidrográficas, estendendo-se até as zonas costeiras e impactando ecossistemas e a biodiversidade marinha (Sanchez et al., 2022; Ramos e Pinheiro, 2025).

Esses impactos estão diretamente relacionados à contaminação dos rios, que ao descenderem para as regiões de jusante, transportam sedimentos e minerais tóxicos (Kennish, 2002; Miranda et al., 2002; Silvestrini e D'Aquino, 2020). Ao alcançarem as zonas costeiras, comprometem os ecossistemas marinhos e a qualidade dos recursos extraídos nessas áreas, afetando populações ribeirinhas e costeiras que dependem desses ambientes para atividades de subsistência, como a pesca artesanal e o abastecimento de água (Pieroni et al., 2015; Sanchez et al., 2022).

Em Mariana, estado de Minas Gerais, ocorreu o rompimento de uma barragem que resultou no vazamento de rejeitos de lama, impedindo a população de consumir a água do rio Doce, utilizada para a subsistência local, a pesca e o consumo diário (Melendi e Martins, 2021; Milanez et al., 2016). Os rejeitos desceram de montante da bacia do rio Doce, em Minas Gerais, percorrendo 670 km e atingindo os rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, até a jusante no estado do Espírito Santo, onde a lama alcançou cerca de 80 km² do oceano Atlântico (Milanez et al., 2016; Gomes et al., 2017; Sanchez et al., 2022). Esse episódio evidencia a magnitude dos impactos da mineração em bacias hidrográficas, reforçando a necessidade de compreender como tais processos se manifestam em diferentes contextos regionais.

No estado do Amapá, por exemplo, a mineração tem grande importância histórica para o desenvolvimento local, tanto em empreendimentos de grande quanto de pequeno porte, desde o período em que o território ainda não havia sido elevado à categoria de estado (Oliveira, 2010). O surgimento dessas atividades extrativistas iniciou no garimpo do Lourenço, município de Calçoene, na região do contestado franco-brasileiro, ainda no século XVIII, tendo o ouro como principal recurso explorado (Oliveira, 2010; Chagas, 2019).

Contudo, foi com a mineração industrial que o Amapá despontou na década de 1950, trazendo o *desenvolvimento* regional, atribuído à chegada da Indústria e Comércio de Minérios S/A (ICOMI), no município de Serra do Navio, com a extração de manganês, período em que outros empreendimentos surgiram dentro do estado do Amapá e na Amazônia de modo geral (Monteiro, 2005; Chelala e Chelala, 2023).

Neste sentido, este capítulo tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico e cienciométrico em produções científicas, como artigos, dissertações, teses e livros, a fim de compreender de forma crítica os impactos da mineração, tanto industrial quanto artesanal, sobre as bacias hidrográficas. Busca-se identificar os principais efeitos no meio físico e biótico, bem como as implicações socioambientais associadas, contribuindo para a análise integrada dos desafios e perspectivas de gestão ambiental nessas regiões.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na abordagem cienciométrica, que é definida por Silva e Bianchi (2001, p. 5) como “o estudo de mensuração e quantificação do progresso científico por meio de indicadores bibliométricos” utilizada para mapear e analisar a produção científica relacionada ao tema investigado. O levantamento bibliográfico

foi realizado em bases de dados nacionais e internacionais de reconhecida relevância acadêmica, tais como Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO e Google Scholar, abrangendo publicações no período de 2000 a 2025.

Foram empregados descritores específicos em português, inglês e espanhol, combinados por operadores booleanos, a fim de ampliar a recuperação de estudos pertinentes. Como critérios de inclusão, consideraram-se artigos originais, revisões e documentos técnicos que apresentassem relação direta com o tema central, enquanto trabalhos sem aderência temática ou com dados insuficientes foram excluídos.

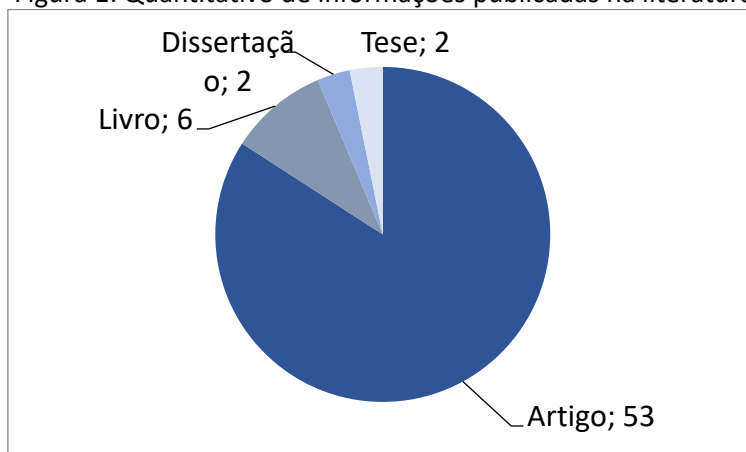
Após a triagem inicial, os registros foram sistematizados em planilhas eletrônicas e posteriormente organizados em softwares de análise bibliométrica e geoespacial, como Excel e VOSviewer, permitindo a construção de indicadores de produção científica. Foram analisados aspectos como evolução temporal das publicações, principais periódicos, autores e instituições mais produtivos, países de origem, frequência de palavras-chave e redes de coautoria.

Essa abordagem possibilitou identificar tendências, lacunas de pesquisa e a relevância do tema no cenário científico nacional e internacional, fornecendo subsídios para a consolidação do referencial teórico e para a proposição de agendas futuras de investigação metodologia empregadas nesse levantamento bibliográfico foi o de cienciometria.

3. RESULTADOS

Nessa etapa do trabalho foram analisados 63 trabalhos publicados em relação ao tema proposto, impactos da atividade mineradora em bacias hidrográficas, tanto em contexto internacional, nacional e regional (Figura 1).

Figura 1: Quantitativo de informações publicadas na literatura



Fonte: Autor

De acordo com a figura 1, os resultados encontrados da pesquisa bibliográfica evidenciam uma predominância de artigos científicos publicados em relação ao tema proposto, totalizando 53 artigos, o que corresponde a 84% do material analisado. Em seguida, foram utilizados seis livros, que correspondendo cerca de 10% das referências, enquanto dissertações e teses corresponderam dois trabalhos cada, representando 3% do trabalho total. Este resultado representa a centralidade dos artigos científicos como principal fonte para embasamento teórico.

Práticas de exploração dos recursos naturais estão presentes desde os primórdios da história da humanidade, passando pelo período pré-histórico, a Revolução Industrial no século XVIII, até a era das tecnologias modernas na atualidade (Lourenço e Branco, 2012). A atividade mineradora tem sido historicamente, uma das bases do desenvolvimento econômico e tecnológico em diversas regiões do mundo (Luckeneder et al., 2021).

No entanto, seu avanço, frequentemente marcado por fragilidades no planejamento ambiental, tem evidenciado uma série de impactos ambientais decorrentes dessa atividade, especialmente em áreas próximas a corpos hídricos (Wanderley et al., 2016, Hatje et al., 2017). Esses impactos se manifestam desde as regiões a montante até a jusante das bacias hidrográficas, afetando a biodiversidade costeira e comunidades tradicionais que dependem diretamente dos rios para sua subsistência (Kennish, 2002; Camacho et al., 2022; Miranda et al., 2002; Silvestrini e D'Aquino, 2020).

A mineração é uma atividade extrativista que pode ser conceituada como um conjunto de etapas técnico-científicas voltadas à identificação, extração, beneficiamento e, posteriormente, à exportação dos recursos minerais para o mercado global (Filho et al., 2024). Nesse sentido, Luckeneder et al. (2021); Mancini e Sala (2018) argumentam que a mineração é essencial, pois exerce grande influência no setor industrial e, conseqüentemente, contribui significativamente para o progresso econômico, o bem-estar da população e o fornecimento de insumos indispensáveis à sociedade moderna. O que em períodos anteriores era realizado manualmente, por meio de ferramentas como picaretas, pás e enxadas, evoluiu com o tempo, incorporando o uso de maquinário pesado, que ampliou a escala e a intensidade da exploração mineral.

Em contrapartida, embora a mineração industrial ofereça benefícios ao setor socioeconômico e ao desenvolvimento das nações, ela também acarreta impactos significativos nos territórios onde os empreendimentos estão instalados. Tais impactos podem

provocar danos irreversíveis nas dimensões ambiental, social e econômica, afetando direta ou indiretamente a saúde humana, a qualidade dos recursos hídricos, a biodiversidade, incluindo fauna e flora, consequentemente seus serviços ecossistêmicos, além da segurança e bem-estar das comunidades tradicionais, da paisagem local e das condições sanitárias do ambiente (Kennish, 2002; Sanchez et al., 2022).

Neste sentido, Wathern (1988) discorre que o impacto ambiental pode representar qualquer alteração no meio ambiente provocada por intervenção humana, identificada e avaliada com base em critérios ambientais específicos, dentro de um determinado espaço e período de tempo. Essa avaliação é feita comparando-se a situação atual, após o início da atividade, com um cenário hipotético em que tal atividade não tivesse ocorrido, permitindo identificar a magnitude e a relevância das mudanças observadas.

Nessa perspectiva, entende-se que o ambiente em seu perfeito estado, sem qualquer interferência de influência externa, antrópica, é caracterizado como um local sem impacto ambiental. Como exemplo prático, podemos imaginar uma região de floresta intocada, em sua forma original, longe de qualquer tipo de atividade antrópica, sem exploração.

A resolução do CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986, art. 1º redige que Impacto ambiental, é

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I — a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II — as atividades sociais e econômicas; III — a biota; IV — as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V — a qualidade dos recursos ambientais.

3.1. MINERAÇÃO NO MUNDO E SUAS INFLUÊNCIAS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

No contexto internacional, a extração do minério apresenta impactos significativos nas bacias hidrográficas em diversas regiões do mundo, que tem demonstrado esses efeitos recorrentes sobre sistemas fluviais, especialmente em países com frágeis instrumentos de regulação ambiental.

Na África Subsaariana, por exemplo, estudo de (Ouma, Shane e Syampungani, 2022; M'kandawire et al., 2017; Durand, 2012) mostram que a mineração industrial e artesanal tem afetado significativamente a integridade das bacias hidrográficas, provocando assoreamento, perda de cobertura vegetal e contaminação por metais pesados, como chumbo e mercúrio.

Além dos efeitos ecológicos, há o deslocamento de comunidades locais e a perda de serviços ecossistêmicos fundamentais, como a provisão de água potável e alimentos por meio da pesca artesanal. Esse cenário é agravado pela exploração intensiva de recursos em regiões de alta biodiversidade e baixa capacidade institucional para controle ambiental, que muitas das vezes gera conflitos sociais nessas regiões.

Na costa sudoeste da Índia, estudo de Sreebha e Padmalal (2010), conduzida nos rios Chalakudy, Periyar e Muvattupuzha, revelou que a mineração de areia, tanto em leitos ativos quanto em áreas de planície de inundação, resultou em mudanças morfológicas significativas nos canais fluviais da bacia. O estudo indicou que o volume de areia extraída supera muito a taxa do que era para ser repostado de forma natural, gerando incisão do leito, instabilidade das margens e redução da vazão do afluente em períodos de estiagem. Além dos efeitos físicos sobre os rios, observou-se degradação das zonas ripárias, perda de habitats aquáticos e ameaça à qualidade da água utilizada por centros urbanos próximos, como ocorreu na cidade de Kochi.

A exploração mineral, quando realizada sem base científica e sem limites técnicos, pode comprometer de forma irreversível os ecossistemas aquáticos, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno porte.

Na América do Sul, na região Oeste da Colômbia, estudo de Camacho et al. (2022) identificaram que a mineração ao longo da bacia hidrográfica do rio Atrato, apresentou elevados níveis de metais pesados, como mercúrio (Hg), arsênio (As), cádmio (Cd) e chumbo (Pb), em seus afluentes. A bacia hidrográfica tem grande importância na região por ser banhada por 100 afluentes em seu limite, que contribui para subsistência das comunidades, como por exemplo, a pesca. Das espécies de peixes analisados na bacia, *Holpias malabaricus* (Traíra) foi o que mais se destacou com metais pesados em seu organismo. Segundo os autores, a presença desses metalóides podem acarretar impactos na saúde pública pelo consumo de algumas espécies contaminadas, como o desenvolvimento de câncer.

Esses exemplos internacionais demonstram como os impactos da mineração industrial e artesanal, embora contextualmente distintos apresentem elementos comuns voltados para outras regiões, como a vulnerabilidade dos recursos hídricos, a pressão sobre comunidades tradicionais, degradação do solo, descaracterização da paisagem, no meio biótico e a carência de planejamento ambiental eficaz. Essa comparação internacional reforça a necessidade de se adotar indicadores ambientais específicos, como qualidade do solo e da água, cobertura

vegetal e biota aquática, para uma avaliação integrada dos efeitos da mineração sobre os ecossistemas costeiros e fluviais.

3.2. MEIO FÍSICO

O meio físico pode ser caracterizado por ter em seu ambiente componente como solo, água, ar, relevo e cobertura vegetal que formam ecossistemas e ambiente propício para atividades humanas, e consequentemente um dos primeiros indicadores a serem afetados pela atividade mineradora, especialmente em razão do decapeamento do solo, da escavação, descaracterização da paisagem, disposição de rejeitos e uso intensivo de água no processo de beneficiamento mineral (Khobragade, 2020; Garibaldi et al., 2008).

A contaminação do solo pode ocorrer tanto pela disposição inadequada de estéreis quanto pelo vazamento de metais pesados e substâncias tóxicas. No caso das bacias hidrográficas e seus recursos hídricos, os impactos incluem o assoreamento, a alteração da vazão natural, a redução da qualidade da água e o aumento da turbidez, afetando diretamente o equilíbrio ecológico da bacia e comunidades no entorno desses (Kennish, 2002).

3.3. SUPRESSÃO VEGETAL

A remoção da cobertura vegetal é outro impacto recorrente da mineração, principalmente na fase de instalação e expansão do empreendimento (Li et al., 2020). A supressão da vegetação, o decapeamento do solo pode alterar a dinâmica do solo sobre a fertilização e o regime hídrico local, reduzindo a infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e contribuindo para processos erosivos (Clark e Zipper, 2016;).

Além disso, a vegetação desempenha papel fundamental na manutenção da biodiversidade, no equilíbrio do microclima e na proteção das margens dos cursos d'água (Gamon et al., 2019; Biney et al., 2022; Li et al., 2024). Portanto, a análise da cobertura vegetal nas bacias estudadas acaba se tornando essencial para avaliar o grau de fragmentação ambiental e as possibilidades de regeneração natural (restauração) ou recuperação das áreas impactadas pela mineração.

3.4. ICTIOFAUNA

A ictiofauna representa um importante bioindicador das condições ambientais dos corpos hídricos, peixes são sensíveis a alterações na qualidade da água, como variações nos níveis de oxigênio, presença de metais pesados e sedimentos em suspensão (Bertora et al., 2023; Viana e Frédou, 2014).

A atividade mineradora pode comprometer a reprodução, a alimentação e a migração das espécies, impactando diretamente os estoques pesqueiros que sustentam comunidades ribeirinhas e tradicionais (Lima et al., 2015), a análise da composição e abundância da ictiofauna pode revelar impactos cumulativos da degradação ambiental ao longo do tempo (Souza Hacon et al., 2020). Sendo assim, incluir os peixes como indicador permite associar dados físicos e químicos da água com respostas ecológicas mensuráveis em relação ao despejo de metais pesados nos recursos hídricos.

A avaliação desses três elementos permite compreender as transformações físico-químicas que ocorrem ao longo das bacias hidrográficas e como elas afetam os demais componentes do ambiente.

3.5. MINERAÇÃO NO BRASIL E SEUS IMPACTOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Em território nacional, a mineração apresenta um histórico de impactos ambientais no meio físico e biótico, sendo esses, um dos indicadores que mais sofrem com a antropização desses empreendimentos. Os dois maiores desastres já registrados no Brasil ocorreram na região sudeste do país.

Em 05 de Novembro de 2015, considerado como um dos maiores desastres ambientais já ocorridos no Brasil, em decorrência da exploração mineral, ocorreu o rompimento da barragem de fundão, em Mariana, município localizado no estado de Minas Gerais, onde os impactos resultaram num extenso vazamento de rejeitos e lama, no qual os rejeitos saíram a montante da bacia do rio Doce, estado de Minas Gerais, até a foz da mesma, na região costeira do estado do Espírito Santo, adentrando 80 km² no oceano atlântico (Sanchez et al; 2022).

Segundo Wanderley et al. (2016), este vazamento de rejeitos impediu que a população local consumisse o principal afluente da bacia do Rio Doce, uma fonte vital para a subsistência. A interrupção do uso do afluente afetou diretamente as atividades diárias, como a pesca e o consumo cotidiano, amplificando consideravelmente a magnitude dos desafios enfrentados pela comunidade, dessa forma, ocasionando impactos significativos nos pilares da sustentabilidade (Neves et al., 2016; Oliveira et al., 2020).

A lama percorreu cerca de 670 km, assim, mudando a tonalidade da água do mar e alastrando ao longo da costa Sudoeste do Brasil, atingindo praias do norte ao sul do Estado do Espírito Santo (Carmo et al., 2017; Magris et al., 2019; Sanchez et al., 2022). Os resíduos

causaram danos significativos aos ecossistemas, ribeirinhos e estuarinos do rio Doce, resultando no rápido acúmulo de sedimentos. Isso levou ao soterramento e à morte de organismos bentônicos.

Além disso, em apenas um a dois dias, houve um aumento expressivo no acúmulo de metais pesados nos sedimentos, atingindo níveis muito superiores às condições anteriores ao impacto (Gomes et al. , 2017). Os impactos ambientais nas áreas de estuário, oceano e zona costeira, incluindo sua biodiversidade, persistem como uma das maiores lacunas de conhecimento essencial para os esforços de restauração ambiental, assim deixando seus passivos ambientais (Sanchez et al., 2022).

Três anos depois, no dia 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da barragem do córrego do feijão, no município de Brumadinho, em Minas Gerais (Thompson et al., 2020; Rotta et al., 2020). Os rejeitos da barragem foram despejados no rio Paraopeba, que faz confluência com o rio São Francisco, considerado um dos principais afluentes da região, que banha um milhão de moradores ao seu entorno que usam o rio como fonte de consumo (Favre et al., 2016).

Apesar dos rejeitos não terem se espalhado como o de Mariana até a costa oceânica, esse impacto é considerado como o maior desastre ambiental que já ocorreu no Brasil pela mineração industrial, principalmente pelos números de óbitos que ocorreram com o desastre, um total de 260 pessoas que foram soterrados pelo extravasamento dos rejeitos, no qual a fauna terrestre e aquática também foi afetada (Vegilio et al., 2020).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), o Brasil apresenta um total de 29.826 barragens cadastradas em seu portal de informação, desde barragens de aquicultura, hidrelétricas, contenção de sedimentos, rejeitos, vazão, onde 4.100 apresentam Dano Potencial Associado (DPA) em caso de rompimento, e 15.500 não são classificadas, sendo assim apresentando uma lacuna sobre essas informações em relação a monitoramento dessas.

3.6. MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA

Assim como na região Sudeste, a Amazônia apresenta um longo histórico de mineração, tanto em escala industrial quanto artesanal. Um dos primeiros registros remonta à descoberta de ouro na região do contestado franco-brasileiro, em Lourenço, no século XVIII (Chagas, 2019; Oliveira, 2010). No decorrer do século XX, destacaram-se episódios marcantes,

como Serra Pelada, no Pará, durante a década de 1980 e a exploração de manganês em Serra do Navio, no Amapá, a partir da década de 1950, considerado o primeiro empreendimento de mineração industrial em larga escala na Amazônia.

Esse marco abriu caminho para a instalação de outros projetos de grande porte, como o Programa Grande Carajás, no Pará, voltado à extração de ferro a partir de 1960; a atuação do Caulim da Amazônia S/A (CADAM S/A), em Vitória do Jari; e a exploração de bauxita em Porto de Trombetas pela Aluminum Limited of Canada (ALCAN), na década de 1970 (Monteiro, 2005; Almeida; Silva e Silva, 2024). A presença de grandes jazidas minerais, como ouro, manganês, ferro e caulim, evidencia a importância desses recursos para o desenvolvimento da atividade mineradora na região.

A região também apresenta impactos no meio físico decorrente das atividades antrópicas em seu entorno. Como indicador desses impactos destaca-se as bacias hidrográficas, que sofrem com carreamento de sólidos em suspensão, matéria orgânica contaminada, afetando diretamente os rios e seus tributários (Kennish, 2002).

No lago batata, estado do Pará, situado na bacia do rio Trombetas, durante dez anos (1979-1989) foram despejados rejeitos de lavagem da bauxita, que resultou no assoreamento de cerca de 30% do lago, afetando a comunidade bentônica desse ambiente (Brum, Prast e Esteves, 2006; Callisto e Esteves, 1996). A degradação da comunidade bentônica reflete não somente a perda da diversidade biológica, mas também a alteração de processos ecológicos, como a ciclagem de nutrientes e a manutenção das cadeias alimentares da fauna aquática (Aller, 2001). A redução de organismos sensíveis e a abundância de espécies tolerantes evidenciaram o grau e impacto que o despejo de rejeitos causa no ambiente.

Ainda no estado do Pará, o município de Barcarena tem sido marcado por conflitos socioambientais relacionados à mineração industrial, em especial pelo empreendimento Hydro Alunorte. Segundo Santos, Silva e Oliveira (2019), a omissão de planejamento territorial e de políticas públicas efetivas favoreceu um inchaço populacional em decorrência da mineração, assim indicando vulnerabilidade da região costeira do município, agravando impactos irreversíveis nesse ambiente, em sua biodiversidade. Casos como o naufrágio do navio Haidar no ano de 2015 e o vazamento de rejeitos em 2018, indicam como esse empreendimento impactam ecossistemas frágeis e comprometem o cotidiano da comunidade local.

De outro modo, Nazaré, Nascimento e Penha (2018) destacam que o vazamento de rejeitos da Hydro em fevereiro de 2018 atingiu diretamente a bacia hidrográfica do rio Mucuripi e tributários, alterando a qualidade da água e provocando a mortalidade de espécies aquáticas. Laudos do Instituto Evandro Chagas confirmaram a presença de metais como chumbo e alumínio acima do permitido, tornando impróprio consumo de pescados da região. Esse impacto afetou diretamente a vida das comunidades tradicionais, que dependem da pesca, da agricultura e do extrativismo, apresentando um quadro de intensificação de vulnerabilidade social.

3.7. MINERAÇÃO NO AMAPÁ E AS TRÊS BACIAS DE ANÁLISE

3.7.1. Bacia Hidrográfica do rio Cassiporé

A montante da bacia do rio Cassiporé, na região do contestado franco-brasileiro, no século XVIII ocorreram às primeiras descobertas de ouro na região do Lourenço, atualmente sob gestão da Cooperativa de Garimpeiros do Lourenço (COOGAL). Originalmente marcada por intensa ocupação populacional e disputas geopolíticas, essa região consolidou-se como polo da mineração artesanal de ouro no estado do Amapá (Chagas, 2019; Mathis, 2012; Oliveira, 2010). No entanto, ao longo das décadas os processos de extração, caracterizados pela baixa tecnologia e ausência de tratamento de rejeitos, resultaram em sérios passivos ambientais, como demonstrados por estudos que evidenciaram presença elevadas de metais pesados, a exemplo de mercúrio, cádmio e chumbo, nos solos e cursos d'água da bacia (Lima et al., 2015; Venturieri et al., 2017; Costa et al., 2021).

A contaminação hídrica, intensificada pelo despejo irregular de rejeitos em igarapés e no rio Reginá, que faz confluência com o rio Cassiporé, pode comprometer diretamente a saúde das comunidades ribeirinhas, que dependem na maioria das vezes do uso exclusivo dos recursos hídricos. Pesquisas têm registrado níveis elevados de mercúrio em peixes consumidos pela população local, indicando riscos de bioacumulação e potenciais efeitos à saúde humana (Lima et al., 2015; Hacon et al., 2020). Além dos impactos nas comunidades, estudos apontam efeitos diretos sobre a fauna aquática, como a redução da densidade populacional de botos, cuja reprodução tem sido ameaçada pela exposição contínua ao mercúrio (Marmontel et al., 2021; Hacon et al., 2020).

Esses aspectos apresentam como a mineração artesanal na bacia do rio Cassiporé transcende impactos ambientais, configurando também um problema social e de governança,

implicações diretas sobre os ecossistemas e sobre a dignidade humana das comunidades afetadas.

3.7.2. Bacia Hidrográfica do rio Araguari

A montante da bacia do rio Araguari, com um histórico de exploração mais industrial, a exploração de manganês em Serra do Navio, iniciada na década de 1950 pela Indústria e Comércio de Minérios S/A (ICOMI S/A), representou o marco da mineração em larga escala na Amazônia (Monteiro, 2005; Drummond e Pereira, 2007). A ICOMI S/A após o encerramento de sua atividade (1950-1997) deixou passivos ambientais que estão presentes nos dias atuais (Chagas, 2010).

Além das áreas degradadas no alto Araguari, em virtude de quatro décadas de exploração, a ICOMI S/A deixou passivos ambientais na Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA), no estuário, no município de Santana. A contaminação ocorreu no meio físico a partir da contaminação por arsênio através de uma usina de pelotização que o empreendimento instalou próximo ao rio Amazonas (Drummond e Pereira, 2007). Estudos identificaram níveis elevados de arsênio em águas subterrâneas do município de Santana, área diretamente influenciada beneficiamento mineral e despejo irregular do material contaminante. Em análises de poços, foram detectadas concentrações variando de 0,19 a 5,45 mg/L (Queiroz et al., 2009), valores bem acima do limite permitido de 0,1 mg/L para águas doces segundo o CONAMA (2005). Deergan (2015) também registrou concentrações entre 1,2 e 1,5 mg/L em amostras coletadas no bairro do Elesbão, confirmando a persistência da contaminação.

Além da água, o solo urbano também foi impactado pelo uso de rejeitos contaminados com arsênio no asfaltamento de vias em Santana. Casara (2003) relatou que o bairro Hospitalidade recebeu diretamente esse material, e moradores denunciaram problemas de saúde relacionados à exposição. Resultados de Pereira et al. (2009) reforçaram a gravidade da situação, com concentrações de arsênio e manganês no solo superiores ao estabelecido pela CETESB para áreas residenciais, chegando a 1.713 mg/kg. Esses dados evidenciam que os impactos da mineração da ICOMI transcenderam a área de lavra, afetando a bacia do Araguari desde sua porção a montante até a zona estuarina de Santana, na foz com o rio Amazonas.

Mais recentemente, eventos de contaminação e acidentes reforçam a vulnerabilidade das bacias. Em 2021, a Mina Tucano foi multada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) com uma no valor de 50 milhões de reais devido a um vazamento de cianeto em

afluentes próximo a zona urbana do município de Pedra Branca do Amapari. Já em janeiro de 2025, ocorreu o rompimento de uma barragem de mineração de garimpo ilegal, no município de Pedra Branca do Amapari, rio Cupixi, no limite entre a Floresta Estadual do Amapá (FLOTA) e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Iratupuru. Os rejeitos atingiram municípios a jusante, como Pedra Branca do Amapari, Porto Grande e Cutias do Araguari, onde foi decretada situação de emergência. De acordo com análises preliminares realizadas pelo Governo do Estado, a barragem continha elevados níveis de sólidos em suspensão e indícios de contaminação por mercúrio, com concentrações acima do permitido pela legislação vigente. Esses eventos mostram a continuidade dos riscos associados à mineração no Araguari, revelando que, mesmo após o fim da ICOMI S/A, a região ainda enfrenta desafios ambientais graves.

3.7.3. Bacia Hidrográfica do rio Jari

Na bacia do rio Jari, a instalação do Caulim da Amazônia S/A (CADAM S/A) na década de 1970, vinculada ao projeto Jari Florestal idealizado por Daniel Ludwig, representou o início da exploração de caulim em larga escala na região (Monteiro, 2005). As jazidas identificadas no Morro do Felipe, no município de Vitória do Jari, possibilitaram a criação da primeira empresa brasileira voltada ao beneficiamento desse mineral (Wilson, Santos e Santos, 1998). Apesar da relevância econômica, os empreendimentos associados ao caulim geraram pressões ambientais significativas, sobretudo sobre o meio físico e os recursos hídricos, com registros de contaminação química em áreas a jusante do rio Jari.

Estudos de Oliveira (2011) e Abreu e Cunha (2017) evidenciam concentrações elevadas de sulfato (SO_4) em águas superficiais próximas à indústria, associadas a problemas de saúde pública, como quadros frequentes de diarreia nas populações ribeirinhas. Além disso, a emissão de poluentes atmosféricos provenientes do beneficiamento mineral no estado do Pará se dispersa até o município de Vitória do Jari, afetando diretamente comunidades locais. A presença de sulfato, em especial, acarreta riscos adicionais, como acidificação dos corpos hídricos e degradação da qualidade ambiental.

Embora haja ainda lacunas científicas sobre os impactos da mineração de caulim na região, relatos apontam que os rejeitos liberados pela indústria têm contaminado solos e águas subterrâneas (Naka, 2018; Fiocruz, 2018). As análises físico-químicas confirmaram níveis elevados de metais pesados, como o cádmio (Cd), em moradores de áreas próximas aos

polos industriais, com potenciais efeitos neurológicos, gastrointestinais e cardiorrespiratórios em médio e longo prazo. Tais evidências reforçam que a exploração mineral na bacia do rio Jari não apenas compromete a integridade ambiental, mas também representa um risco direto à saúde pública e ao equilíbrio socioecológico da região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise evidenciou que a mineração, apesar de sua relevância histórica e socioeconômica para o desenvolvimento regional, impõe sérios desafios ambientais e sociais quando não acompanhada por políticas eficazes de gestão. Os casos emblemáticos de Mariana e Brumadinho revelam a dimensão dos impactos que ultrapassam fronteiras locais e alcançam bacias hidrográficas inteiras, demonstrando a vulnerabilidade de ecossistemas e comunidades. Na Amazônia, particularmente no estado do Amapá, a trajetória de empreendimentos como a ICOMI, CADAM e COOGAL mostra que os passivos ambientais decorrentes da mineração permanecem como herança duradoura, com efeitos que se estendem desde a montante até os estuários e zonas costeiras.

Constata-se que a ausência de planejamento integrado e de monitoramento contínuo intensifica processos como assoreamento, contaminação por metais pesados e perda de biodiversidade, além de ampliar desigualdades sociais. Esses elementos reforçam a urgência de estabelecer mecanismos de governança que articulem órgãos ambientais, setor produtivo e comunidades locais, de modo a compatibilizar a atividade minerária com a conservação ambiental e a justiça social.

Portanto, compreender os impactos da mineração nas bacias hidrográficas não deve limitar-se à identificação de danos, mas avançar para a construção de estratégias que incorporem a perspectiva preventiva, o fortalecimento de instrumentos de gestão territorial e a valorização dos serviços ecossistêmicos. Somente assim será possível alinhar desenvolvimento econômico e sustentabilidade, evitando que o ciclo da mineração continue a reproduzir vulnerabilidades históricas e ambientais na Amazônia e em outras regiões do país.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Gerenciamento Costeiro do Amapá, ao IEPA e CNPq pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.; CUNHA, A. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 45-56, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>.
- ALLER, R. C. Transport and reactions in the bioirrigated zone. In: BONDREAU B. P.; JORGENSEN B.B. The benthic boundary layer. New York: Oxford University Press, 2001. p. 269-301. <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780195118810.003.0011>
- BERTORA, A.; GROSMAN, F.; SANZANO, P.; ROSSO, J. J. Impoverished fish assemblages of temperate Neotropical streams respond to environmental degradation and support a sensitive Index of Biotic Integrity. *Hydrobiologia*, v. 851, n. 2, p. 383-408, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-023-05211-9>
- BINEY, E.; BINEY, N.; DADZIE, I.; HARRIS, E.; QUARTEY, G. A.; ASARE, Y. M.; FORKUO, E. K. Impact of mining on vegetation cover: A case study of Prestea Huni-Valley municipality. *Scientific African*, v. 17, e01387, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01387>.
- BRUM, P.R., PRAST, A.E., ESTEVES, F.A. (2006). Changes in the allocation of some chemical compounds in structures of *Oryza glumaepatula* (Steud) in an Amazonian lake subjected to an anthropic impact (Lake Batata, Porto Trombetas). In: Caffrey, J.M., Dutartre, A., Haury, J., Murphy, K.J., Wade, P.M. (eds) *Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management*. Developments in Hydrobiology, vol 190. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5390-0_4
- CALLISTO, M., ESTEVES, F.A. (1996) Macroinvertebrados Bentônicos Em Dois Lagos Amazônicos: Lago Batata (Um Ecossistema Impactado Por Rejeito De Bauxita) E Lago Mussurá (Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*. Vol.8, 137-147.
- CAMACHO, C. S.; MORENO, M. S.; MADRID, S. M.; URIBE, R. P.; NEGRETE, J. M.; DÍEZ, S. A human health risk assessment of methylmercury, arsenic and metals in a tropical river basin impacted by gold mining in the Colombian Pacific region. *Environmental Research*, v. 212, p. 113120, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113120>.
- CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y.; JUNIOR, R. T.; CAMPOS, I. C.; SILVINO, G.; CASTRO, K. J.; MAURO, M. L.; RODRIGUES, N.; MIRANDA, M.; PINTO, C. E. F. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, p. 145–151, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002>.
- CASARA, M. Mineração predatória na Amazônia brasileira: cinco décadas de irresponsabilidade social e ambiental no Estado do Amapá. Florianópolis: [s. n.], 2003. 48 p.
- COSTA, M. L.; NOGUEIRA, J. M.; GUADALUPE, J. V. Valoração do serviço de provisão de água da bacia do rio Cassiporé, no estado do Amapá, Brasil. *Novos Cadernos NAEA*, v. 24, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/7724>.
- CHAGAS, M. A. A. Conflitos, gestão ambiental e o discurso do desenvolvimento sustentável na mineração no estado do Amapá. 2010. 235 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento

Sustentável do Trópico Úmido) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11106>.

- CHAGAS, M. A. A. A Geopolítica do Garimpo do Lourenço, Norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 39, p. 1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v39i0.55253>.
- CHELALA, C.; CHELALA, C. Oito décadas da economia do Amapá. In: PORTO, J. (org.). *Amapá: oitenta anos de novas racionalidades e dinâmicas territoriais (1943-2023)*. Maringá: Uniedusul, 2023. p. 30-52.
- CLARK, E. V.; ZIPPER, C. E. Vegetation influences near-surface hydrological characteristics on a surface coal mine in eastern USA. *Catena*, v. 139, p. 241-249, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.004>.
- DERGAN, A. L. N. Biomarcadores bioquímicos em duas espécies aquáticas amazônicas na avaliação da qualidade de ambientes com histórico de contaminação por arsênio. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- DURAND, J. F. The impact of gold mining on the Witwatersrand on the rivers and karst system of Gauteng and North West Province, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, v. 68, p. 24-43, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.03.013>.
- DRUMMOND, J. A.; PEREIRA, M. A. P. O Amapá nos tempos do manganês: um estudo sobre o desenvolvimento de um estado amazônico (1943-2000). Rio de Janeiro: Garamond, 2007. 487 p.
- FAVRE, T. C.; FERNANDEZ, M. A.; BECK, L. C. N. H.; GUIMARÃES, R. J. de P. S.; PIERI, O. S.; THIENGO, S. A. C. Assessment of schistosomiasis in the semi-arid Northeast region of Brazil: the São Francisco River large-scale water transposition project. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 49, n. 2, p. 252–257, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0243-2015>.
- FARIAS, C. E. G. Mineração e meio ambiente no Brasil. PNUD – Contrato 2002/001604. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002. 42 p. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5224>.
- FILHO, O. O. B. Q., JUNIOR, P. E. G., SANTOS, N. L., & OLIVEIRA, M. P. de. (2024). Análise de risco ambiental: um estudo de caso em mineração à céu aberto no Amapá. *Caderno Pedagógico*, 21(6), e4744. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-036>
- GARIBALDI, C. M.; OLIVEIRA, F. M. D.; KAGAWA, A.; SERRA, R. N.; PERIM, L. A.; ENDO, A. Impacts on the physical environment caused by works of the OSBAT 24" oil pipeline; Impactos no meio físico decorrentes das obras de manutenção do Oleoduto OSBAT 24". [S. l.: s. n.], 2008.

- GAMON, J. A.; SOMERS, B.; MALENOVSKÝ, Z.; MIDDLETON, E. M.; RASCHER, U.; SCHAEPMAN, M. E. Assessing vegetation function with imaging spectroscopy. *Surveys in Geophysics*, v. 40, n. 3, p. 489-513, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09511-5>
- GOMES, L. E. O.; CORREA, L. B.; SÁ, F.; NETO, R. R.; BERNARDINO, A. F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056>.
- HACON, S.; OLIVEIRA-DA-COSTA, M.; GAMA, C.; FERREIRA, R.; BASTA, P.; SCHRAMM, A.; YOKOTA, D. Mercury exposure through fish consumption in traditional communities in the Brazilian Northern Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 15, p. 5269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17155269>.
- HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; REZENDE, C. E. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*, v. 7, p. 10706, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>.
- KENNISH, M. J. Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 1, p. 78-107, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>.
- KHOBRADE, K. Impact of mining activity on environment: an overview. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 10, n. 5, p. 784-791, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.05.2020.p10191>.
- LIMA, D. P. D.; SANTOS, C.; SILVA, R. D. S.; YOSHIOKA, E. T. O.; BEZERRA, R. M. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 45, n. 4, p. 405-414, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201403995>
- LI, H.; XIE, M.; WANG, H.; LI, S.; XU, M. Spatial heterogeneity of vegetation response to mining activities in resource regions of northwestern China. *Remote Sensing*, v. 12, n. 19, p. 3247, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12193247>.
- LI, N.; GUO, Y.; WANG, L.; WANG, Q.; YAN, D.; ZHAO, S.; LEI, T. Evaluation and quantitative characterization for the ecological environment impact of open pit mining on vegetation destruction from Landsat time series: A case study of Wulishan limestone mine. *Ecological Indicators*, v. 158, p. 111371, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111371>
- LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In: MELO, A. S.; RIBEIRO, M. C. (org.). *História da construção: arquitetura e técnicas construtivas*. Braga: CITCEM & LAMOP/UAUM, 2013. p. 199-213. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/26503>.
- LUCKENEDER, S.; GILJUM, S.; SCHAFFARTZIK, A.; MAUS, V.; TOST, M. Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems. *Global Environmental Change*, v. 69, p. 102303, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102303>
- M'KANDAWIRE, E.; CHOONGO, K.; YABE, J.; MWASE, M.; SAASA, N.; NAKAYAMA, S. M.; BLINDAUER, C. A. Sediment metal contamination in the Kafue River of Zambia and

- ecological risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 99, n. 1, p. 108-116, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2089-3>.
- MAGRIS, R. A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J. A. F.; BAN, N. C. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 659, p. 828-840, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.238>.
- MANCINI, L.; SALA, S. Social impact assessment in the mining sector: review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, v. 57, p. 98-111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>.
- MARMONTEL, M.; LIMA, S. D.; FUNI, C.; SANTOS, F. V.; COSTA, O. M. Unveiling the conservation status of *Inia* and *Sotalia* in the Brazilian northeastern Amazon. *Aquatic Mammals*, v. 47, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1578/AM.47.4.2021.376>.
- MELENDI, L. P.; MARTINS, L. R. A. A Fundação Renova como forma corporativa: estratégias empresariais e arranjos institucionais no desastre da Samarco/Vale/BHP Billiton no rio Doce, Mariana (MG). *Ambientes: Revista de Geografia e Ecologia Política*, v. 3, n. 2, p. 206-250, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48075/amb.v3i2.28438>.
- MIRANDA, L. B. *Princípios de Oceanografia Física de estuários*. São Paulo: EDUSP, 2002. 136 p.
- MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 187-208, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000100012>.
- NAKA, K. S. Estudo comparativo de cádmio em sangue e cabelo de populações expostas ambientalmente em áreas industriais na Amazônia. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia e Vigilância em Saúde do Instituto Evandro Chagas) – Epidemiologia e Vigilância em Saúde, Instituto Evandro Chagas, Ananindeua, 2018.
- NAZARÉ, M.L.; NASCIMENTO, P.M.R.; PENHA, R.S.; Grandes Projetos Em Barcarena-Pa: Impactos Socioambientais Causados Pelas Atividades Da Hydro Alunorte. *Revista Instituto Histórico e Geográfico do Pará*, v. 5, n. 2, 2018. DOI : <https://doi.org/10.17648/ihgp.v5i2>
- NEVES, A. C. O.; NUNES, F. P.; CARVALHO, F. A.; FERNANDES, G. W. Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Natureza & Conservação*, v. 14, p. 24-27, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.002>.
- OLIVEIRA, M. J. *Diagnóstico do setor mineral do Estado do Amapá*. Macapá: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2010. 148 p.
- OLIVEIRA, M. J. Mineração e desenvolvimento local: benefícios e desafios aos municípios amapaenses. 2011. 273 f. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- OLIVEIRA, P. C.; DI BENEDITTO, A. P. M.; QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C.; ZAPPES, C. A. Traditional knowledge of Fishers versus an environmental disaster from mining waste

- in Central Brazil. *Marine Policy*, v. 120, p. 104129, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104129>.
- OUMA, K. O.; SHANE, A.; SYAMPUNGANI, S. Aquatic ecological risk of heavy-metal pollution associated with degraded mining landscapes of the Southern Africa River Basins: a review. *Minerals*, v. 12, n. 2, 225, 2022. <https://doi.org/10.3390/min12020225>.
- PEREIRA, S. F. P.; OLIVEIRA, G. R. F.; OLIVEIRA, J. S.; SILVA, J. S. S.; SOUSA JUNIOR, P. M. Determinação espectrofotométrica do arsênio em solo da cidade de Santana-AP usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado. *Acta Amazonica*, v. 39, p. 953-960, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400023>.
- PIERONI, J. P.; BRANCO, K. G. R.; INACHVILI, I.; FERREIRA, G. C. Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub bacia hidrográfica do córrego água limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de pratápolis, Minas Gerais. *Revista Geociências*, v. 34, n. 3, p. 402-210, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/10300/6774>
- QUEIROZ, J. C. B.; STURARO, J. R.; SARAIVA, A. C. F.; LANDIM, P. M. B. Evaluating and classifying contaminated areas based on loss functions using annealing simulations. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 101, n. 1, p. 265-282, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.09.005>.
- RAMOS, R. P. S.; PINHEIRO, L. S. Análise multitemporal de ilhas estuarinas na bacia do rio Formoso – litoral sul de Pernambuco – Brasil. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 10, n. 1, p. 01-20, 2025. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.e20507>
- ROTTA, L. H. S.; ALCANTARA, E.; PARK, E.; NEGRI, R. G.; LIN, Y. N.; BERNARDO, N.; SOUZA FILHO, C. R. The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 90, 102119, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102119>.
- SÁNCHEZ, L. E.; BARBOSA, F. A. R.; BRITO, M. C. M.; MAY, P.; MAROUN, C.; RENSHAW, J.; KAKABADSE, Y. *Impactos ambientais da dispersão de rejeitos de mineração em ambientes costeiros e marinhos. Painel do Rio Doce – Relatório Temático N. 5*. Gland, Switzerland: IUCN, 2022. 58 p. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.11.pt>.
- SANTOS, Jorge Sales dos; SILVA, José Augusto Lopes da; OLIVEIRA, Rita Denize de. Ambiente e Sociedade: Exploração Ambiental e Social em Barcarena/PA. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, [S. l.], v. 8, n. 19, 2011. DOI: 10.17271/2317860481920202523.
- SILVA, J. A. D.; BIANCHI, M. D. L. P. Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, v. 11, p. 5–10, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-863X2001000200002>

- SILVESTRINI, T. A. M.; D'AQUINO, C. A. Dinâmica dos parâmetros oceanográficos em um estuário impactado por atividades de mineração de carvão. *Pesquisas em Geociências*, v. 47, n. 3, p. e103404, 2020. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.109992>
- SREEBHA, S., & PADMALAL, D. (2011). Environmental impact assessment of sand mining from the small catchment rivers in the southwestern coast of India: a case study. *Environmental Management*, 47(1), 130-140. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9571-6>.
- THOMPSON, F., OLIVEIRA, B. C., CORDEIRO, M. C., MASI, B. P., RANGEL, T. P., PAZ, P., REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of the Total Environment*, 705, 135914, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.
- VERGILIO, C. D. S., LACERDA, D., OLIVEIRA, B. C. V. D., SARTORI, E., CAMPOS, G. M., PEREIRA, A. L. D. S., & REZENDE, C. E. D. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*, 10(1), 5936, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>
- VENTURIERI, R.; COSTA, M. O.; GAMA, C.; JASTER, C. B. Mercury contamination within protected areas in the Brazilian northern Amazon-Amapá State. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 13, n. 1, p. 11-21, 2017. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.11.21.7>
- VIANA, A. P., & FRÉDOU, L. F. Ichthyofauna as bioindicator of environmental quality in an industrial district in the amazon estuary, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 74(2), 315-324, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.16012>.
- WANDERLEY, L. J.; MANSUR, M. S.; MILANEZ, B.; PINTO, R. G. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socioambientais. *Ciência e Cultura*, v. 68, n. 3, 2016. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000300011>.
- WATHERN, P. (Ed.). *Environmental Impact Assessment: Theory and Practice* (1st ed.). Routledge, 1990. <https://doi.org/10.4324/9780203409978>.
- WILSON, I. R.; SANTOS, H. S.; SANTOS, P. S. Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia. *Cerâmica: Associação Brasileira de Cerâmica*, v. 44, n. 287-288, p. 118-129, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0366-69131998000400003>.

CAPÍTULO XXIX

GERAÇÃO DE BIOGÁS E ESTABILIDADE OPERACIONAL DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS DE CASCA DE LARANJA E GLICEROL BRUTO EM SISTEMA SEMICONTÍNUO

BIOGAS GENERATION AND OPERATIONAL STABILITY OF ANAEROBIC CO-DIGESTION OF ORANGE PEEL WASTE AND CRUDE GLYCEROL IN SEMI-CONTINUOUS SYSTEM

DOI: 10.51859/amplla.asr5320-29

Maria Teresa de Jesus Camelo Guedes¹

Marcos Henrique Gomes Ribeiro²

Vinícius Duarte Soroka³

Maria Cristina de Almeida Silva⁴

¹ Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre e Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS)

² Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) pela UFPE. Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no IPH/UFRGS

³ Engenheiro Ambiental e Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS).

⁴ Professora Adjunta do Departamento de Obras Hidráulicas no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

RESUMO

Em virtude da grande utilização dos combustíveis fósseis, que são fontes não renováveis de energia e induzem diversas mudanças climáticas, há a necessidade de buscar alternativas para mitigar os impactos ambientais. O biogás, que se enquadra como energia renovável, é produzido durante o processo de digestão anaeróbia (DA), que combina aproveitamento de resíduos e geração de biocombustível. O Brasil sendo um dos maiores produtores de laranjas e biodiesel do mundo, necessita destinar adequadamente os resíduos de casca de laranja (RCL) e o glicerol bruto (GB), gerados nos processos de produção de laranjas e biodiesel, respectivamente. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a geração de biogás e a estabilidade da DA de RCL e GB. Para isso, foi utilizado um sistema semicontínuo em escala de bancada operado em temperatura mesofílica por 60 dias. Ao avaliar os resultados obtidos, verificou-se que apesar de adotar concentrações adequadas de carga orgânica volumétrica (COV), segundo a literatura, os volumes de biogás gerados variaram consideravelmente ao longo do período experimental, indicando instabilidade.

Possivelmente, isso ocorreu em virtude da baixa eficiência de remoção de sólidos voláteis e provavelmente, pela presença dos óleos essenciais nos RCL. Para a realização de trabalhos futuros com a DA de RCL, recomenda-se a adoção de tecnologias de pré-tratamento, para reduzir a concentração dos óleos essenciais.

Palavras-chave: Biogás. Co-digestão anaeróbia. Resíduos agroindustriais. Reator anaeróbio. Sistema semicontínuo.

ABSTRACT

Due to the large use of fossil fuels, which are non-renewable sources of energy and induce several climate changes, there is a need to seek alternatives to mitigate environmental impacts. Biogas, which is classified as renewable energy, is produced during the anaerobic digestion (AD) process, which combines waste utilization and biofuel generation. Brazil, being one of the largest producers of oranges and biodiesel in the world, needs to properly dispose of orange peel waste (OPW) and crude glycerol (CG), generated in the production processes of oranges and biodiesel, respectively.



Therefore, this study aimed to evaluate the generation of biogas and the stability of AD of OPW and CG. For this, a semi-continuous bench scale system operated at mesophilic temperature for 60 days was used. When evaluating the results obtained, it was found that despite adopting adequate concentrations of organic loading rates (OLRs), according to the literature, the volumes of biogas generated varied considerably over the experimental period, indicating instability. Possibly,

this occurred due to the low removal efficiency of volatile solids and probably by the presence of essential oils in LCR. For future work with the AD of OPW, it is recommended to adopt pre-treatment technologies to reduce the concentration of essential oils.

Keywords: Biogas. Co-anaerobic digestion. Agro-industrial waste. Anaerobic reactor. Semicontinuous system.

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis ainda constituem a principal fonte de energia mundial. No entanto, além de não renováveis, quando submetidos a processos de combustão, geram gases que causam poluição atmosférica e induzem mudanças climáticas, intensificando o efeito estufa e o aquecimento global (NGUYEN et al., 2020). Assim, é necessária a prospecção de meios que mitiguem o impacto ambiental gerado, e.g. fontes renováveis de energia, com destaque para biocombustíveis como o biogás (CAMARGO et al., 2021).

O biogás é formado durante o processo de digestão anaeróbia (DA), processo que ocorre em quatro fases principais (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) e durante as quais há a transformação de resíduos em produtos de valor agregado como biogás e biofertilizante (CHERNICHARO, 2016). A junção do aproveitamento de resíduos e a geração de energia renovável é uma forma eficiente de conciliar sustentabilidade e desenvolvimento social.

O Brasil é um dos maiores produtores de laranjas do mundo. Durante o processamento da fruta, mais de 50% da biomassa é descartada na forma de resíduo, sendo destinada para aterros sanitários ou compostagem (CAMARGO et al., 2021). Além da produção de laranjas, o Brasil é um dos maiores produtores de biodiesel do mundo e, durante o processo de obtenção desse combustível, são gerados resíduos como o glicerol bruto (GB) (MARTÍN et al., 2013). Assim, a DA é uma das maneiras de utilização dos resíduos de casca de laranja (RCL) e do GB para geração de produtos de valor agregado.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a geração de biogás e a estabilidade da co-digestão anaeróbia de RCL e GB em um sistema semicontínuo em escala de bancada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e procedimentos experimentais do trabalho estão descritos a seguir:

2.1. RESÍDUOS E INÓCULOS UTILIZADOS

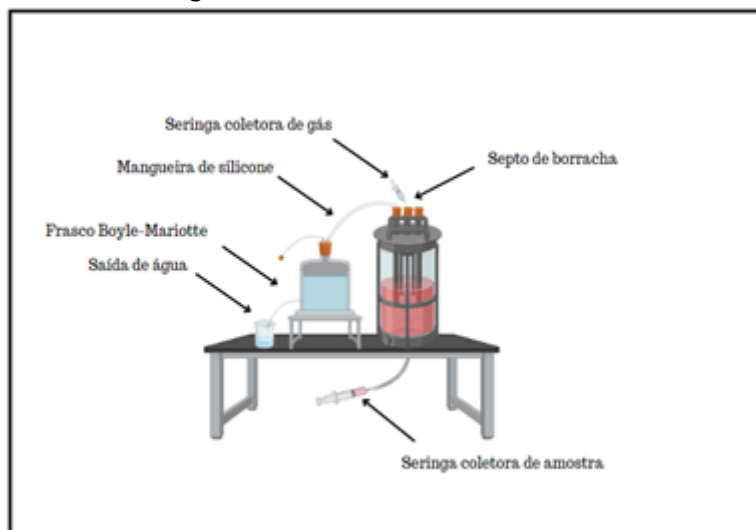
Os resíduos de casca de laranja utilizados foram armazenados em freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e triturados em liquidificador. Foi utilizado inóculo proveniente de reator anaeróbio tipo UASB de indústria alimentícia e glicerol bruto oriundo de uma indústria de biodiesel, ambas localizadas no Rio Grande do Sul.

Para a caracterização dos resíduos e do inóculo foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas: pH, sólidos totais (ST) voláteis (SV) e fixos (SF), demanda química de oxigênio (DQO) e alcalinidade (APHA, 2012).

2.2. SISTEMA SEMICONTÍNUO

No sistema semicontínuo foi utilizado reator de vidro com volume útil de 5 L (Figura 1), operado em temperatura mesofílica por 60 dias. Antes do início de operação, aclimatou-se o inóculo, para adaptação dos microrganismos (LUKITAWESA et al., 2019).

Figura 1 – Reator anaeróbio utilizado



Fonte: Autoria própria.

O preenchimento do reator consistiu em: RCL (13,9 % v/v); GB (0,1% v/v); inóculo (43% v/v); e água deionizada (43% v/v). Também se adicionou 50g de bicarbonato de sódio para fornecer alcalinidade e estabilizar o pH. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 25 dias (JIMÉNEZ-CASTRO et al., 2020) e o regime de alimentação diário.

Para inserção de alimento e retirada do efluente, foram utilizadas seringas acopladas a uma mangueira de silicone. Nos primeiros 30 dias, o conteúdo introduzido ao reator foi composto por 34,5% v/v de RCL, 0,5% v/v de GB e 65% v/v de água deionizada, com carga

orgânica volumétrica (COV) igual a 1,48 gSV/L. d⁻¹. Nos últimos 30 dias de experimento, aumentou-se a COV em 20%.

Ao longo do experimento, o conteúdo do reator foi caracterizado através de análises físicas e químicas. A relação das análises com sua periodicidade é apresentada no Quadro 1.

Quadro 6 - Periodicidade das amostragens realizadas ao longo do experimento

Análise	Periodicidade
Vazão de biogás	Diariamente
pH	Diariamente
Sólidos Totais	1 vez por semana
NTK	1 vez por semana

Fonte: Autoria própria.

Os volumes de biogás foram normalizados às condições normais de temperatura e pressão (273 K e 1013 hPa) (VDI 4630, 2016).

2.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS RESÍDUOS E INÓCULO

A caracterização física e química dos RCL e GB e do inóculo que foram utilizados é apresentada na Tabela 1.

Tabela 7 - Caracterização física e química dos resíduos e inóculo

Parâmetro	RCL	GB	Inóculo
pH	4,3	5,7	7,2
Sólidos Totais (%)	20 ± 4	85 ± 2	16 ± 1
Sólidos Totais Voláteis (%)	19 ± 4	81 ± 2	10 ± 1
Sólidos Totais Fixos (%)	0	4 ± 0	7
DQO (g/L)	35 ± 5	1.169 ± 264	17 ± 5

Fonte: Autoria própria.

RCL: Resíduos de Casca de Laranja; GB: Glicerol Bruto; pH: Potencial Hidrogeniônico; DQO: Demanda Química de Oxigênio.

O baixo pH dos RCL e a elevada concentração de DQO do GB representam um desafio para o processo anaeróbio. No entanto, destaca-se o alto teor de SV dos resíduos, indicando elevado potencial biodegradável em processos de DA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Os resultados de volume diário de biogás produzido (NmL) obtidos ao longo do período experimental estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Volume diário de biogás produzido no reator.



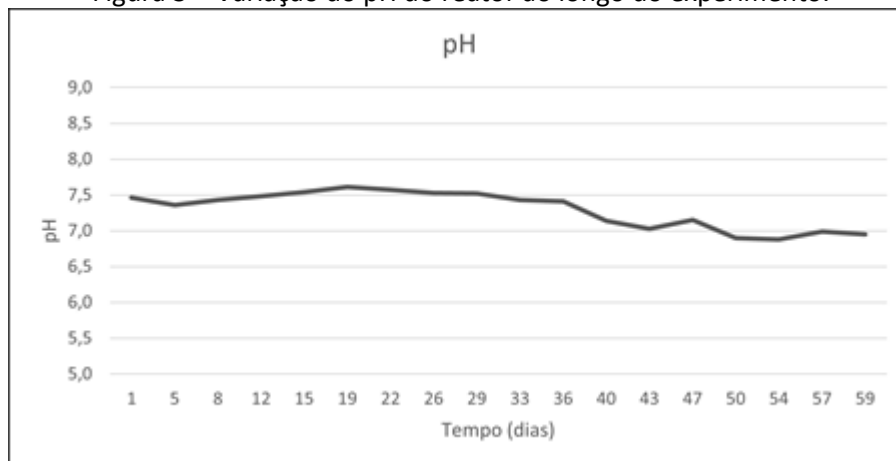
Fonte: Autoria própria.

Nos primeiros cinco dias, verificou-se valores elevados de volume de biogás, com o maior pico superior a 16.000 NmL. Após esse período, mesmo com COV de 1,48 gSV/L. d-1, dentro da faixa recomendada pela literatura (MARTÍN et al., 2013), os volumes gerados variaram significativamente, com média diária próxima de 1.000 NmL.

3.2. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO REATOR

Ao longo do período experimental, foram realizadas análises periódicas de pH, sólidos e NTK, que estão apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

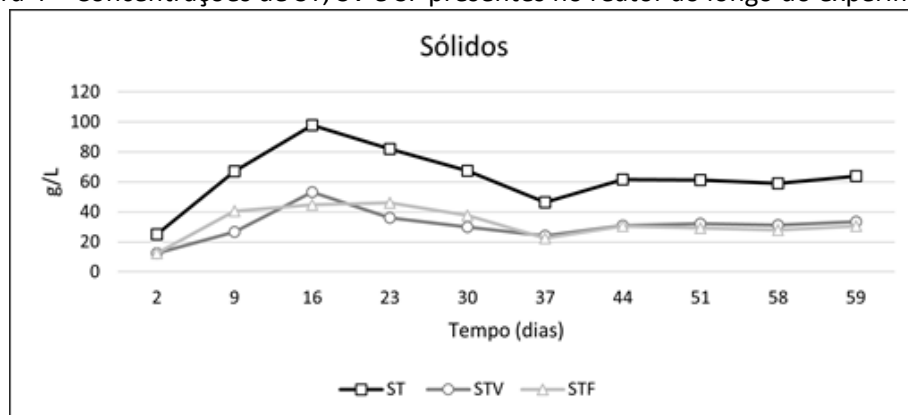
Figura 3 – Variação do pH do reator ao longo do experimento.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 3, o pH variou entre 6,9 e 7,6, permanecendo dentro da faixa ideal para a etapa metanogênica durante todo o experimento (KUNZ et al., 2018).

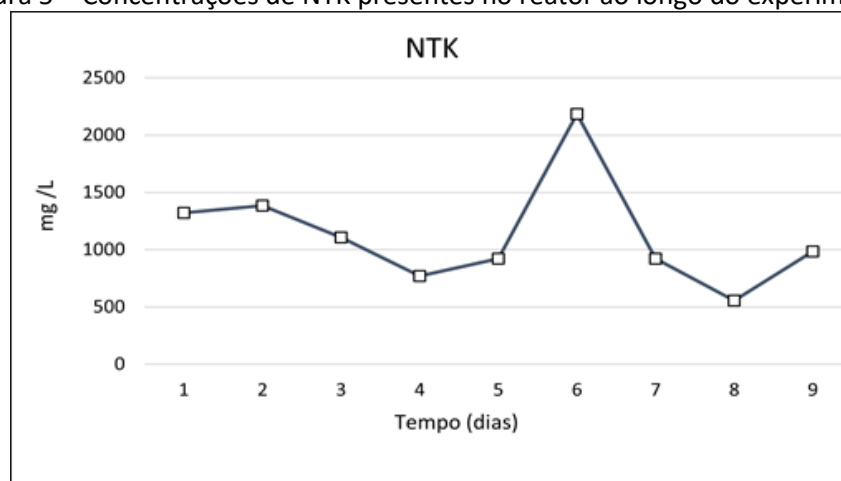
Figura 4 – Concentrações de ST, SV e SF presentes no reator ao longo do experimento.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4, verifica-se redução de concentração de ST e STV. Após o incremento na COV, as concentrações de sólidos permaneceram estáveis, indicando não haver interferência na concentração de biomassa e no desenvolvimento dos microrganismos. No entanto, houve acúmulo de matéria orgânica ao longo do experimento. Jiménez-Castro et al. (2020) utilizaram RCL e encontraram redução de 74% de STV. Assim, constatou-se que no presente estudo não houve eficiência de remoção de sólidos esperada.

Figura 5 – Concentrações de NTK presentes no reator ao longo do experimento.



Fonte: Autoria própria.

Metcalf et al. (2004) destacam que concentrações acima de NTK acima de 3.000 mg/L podem inibir a atividade microbiana para qualquer valor de pH, e promover o desequilíbrio da DA.

Na Figura 5, verifica-se que o reator apresentou concentrações abaixo de 2.500 mg/L, e portanto, estão dentro da faixa sem potencial de inibição. Dessa forma, provavelmente, a produção volumétrica de biogás não foi influenciada pelas concentrações de NTK, importante como nutriente para síntese de proteínas e reprodução celular (GIACON, 2019).

4. CONCLUSÕES

Diante do trabalho realizado, verificou-se que apesar de adotar concentrações adequadas de COV, segundo a literatura, verificou-se que os volumes de biogás gerados variaram consideravelmente ao longo do período experimental, indicando instabilidade no processo anaeróbio

É provável que isso tenha ocorrido em virtude de fatores como, a baixa eficiência de remoção de sólidos voláteis e provavelmente, a presença dos óleos essenciais nos RCL. Para a realização de trabalhos futuros com a DA de RCL, assim como RCL combinado com GB, recomenda-se a adoção de tecnologias de pré-tratamento, para reduzir a concentração dos óleos essenciais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujos recursos e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF, 2012.
- CAMARGO, F. P. et al. Metataxonomic characterization of bacterial and archaeal community involved in hydrogen and methane production from citrus peel waste (*Citrus sinensis* L. Osbeck) in batch reactors. *Biomass and Bioenergy*, v. 149, 2021.
- CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios – princípios de tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
- GIACON, M. F. Valorização energética dos resíduos de kiwi e borra de vinho por meio de co-digestão anaeróbia. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de Tecnologia Ambiental, Bragança, 2019.
- JIMÉNEZ-CASTRO, M. P. et al. Two-stage anaerobic digestion of orange peel without pre-treatment: Experimental evaluation and application to São Paulo state. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, 2020.

- KUNZ, A. et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera; Embrapa Suínos e Aves, 2019.
- LUKITAWESA et al. Factors influencing volatile fatty acids production from food wastes via anaerobic digestion. *Bioengineered*, v. 11, n. 1, p. 39–52, 2019.
- MARTÍN, M. A. et al. Semi-continuous anaerobic co-digestion of orange peel waste and residual glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Waste Management*, v. 33, p. 1633-1639, 2013.
- METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLOUS, G. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- NGUYEN, T. T. et al. Pre-treatment study on two-stage biohydrogen and biomethane productions in a continuous codigestion process from a mixture of swine manure and pineapple waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE – VDI. VDI 4630: Fermentation of organic materials: characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2006.
- ZEMA, D. A. et al. Anaerobic digestion of orange peel in a semi-continuous pilot plant: An environmentally sound way of citrus waste management in agro-ecosystems. *Science of the Total Environment*, v. 630, p. 601-608, 2018.

