

PESQUISAS EM

Ecologia

e sustentabilidade

VOLUME 3



Érica da Silva Bachetti
Karine de Matos Costa
Daniel de Carvalho Silva
Alane Ayana Vieira de Oliveira Couto
ORGANIZADORES



PESQUISAS EM

Ecologia

e sustentabilidade

VOLUME 3



Érica da Silva Bachetti
Karine de Matos Costa
Daniel de Carvalho Silva
Alane Ayana Vieira de Oliveira Couto
ORGANIZADORES



Érica da Silva Bachetti
Karine de Matos Costa
Daniel de Carvalho Silva
Alane Ayana Vieira de Oliveira Couto
Organizadores

Pesquisas em Ecologia e Sustentabilidade

Volume 3



©2026 *by* Wissen Editora
 Copyright © Wissen Editora
 Copyright do texto © 2026 Os autores
 Copyright da edição © Wissen Editora
Todos os direitos reservados

Direitos para esta edição cedidos pelos autores à Wissen Editora.



Todo o conteúdo desta obra, inclusive correção ortográfica e gramatical, é de responsabilidade do(s) autor(es). A obra de acesso aberto (Open Access) está protegida por Lei, sob Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional, sendo permitido seu *download* e compartilhamento, desde que atribuído o crédito aos autores, sem alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editores Chefe: Dr. Junielson Soares da Silva
 Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
 Dra. Denise dos Santos Vila Verde
 Dra. Adriana de Sousa Lima

Projeto Gráfico e Diagramação: Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

Imagem da Capa: Canva / Inteligência Artificial

Edição de Arte: Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira

Revisão: Os autores
 Os Organizadores

Informações sobre a Editora

Wissen Editora
 Homepage: www.editorawissen.com.br
 Teresina – Piauí, Brasil
 E-mails: contato@wisseneditora.com.br
wisseneditora@gmail.com

Siga nossas redes sociais:



@wisseneditora

EQUIPE EDITORIAL

Editores-chefes

Dr. Junielson Soares da Silva
Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Dra. Denise dos Santos Vila Verde
Dra. Adriana de Sousa Lima

Equipe de arte e editoração

Ma. Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira
Me. Isaquiel de Moura Ribeiro Azevedo

CONSELHO EDITORIAL

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Dr. Felipe Górski - Secretaria de Educação do Paraná (SEED/PR)
Dra. Patrícia Pato dos Santos - Universidade Anhanguera (Uniderp)
Dr. José Carlos Guimarães Júnior - Governo do Distrito Federal (DF)

Ciências Biológicas e da Saúde

Dra. Francijara Araújo da Silva - Centro Universitário do Norte (Uninorte)
Dra. Rita di Cássia de Oliveira Ângelo - Universidade de Pernambuco (UPE)
Dra. Ana Isabelle de Gois Queiroz - Centro Universitário Ateneu (UniAteneu)

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Dr. Allan Douglas Bento da Costa - Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Dra. Vania Ribeiro Ferreira - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)
Dr. Agmar José de Jesus Silva – Secretaria de Educação do Amazonas (Seduc/AM)

Linguística, Letras e Artes

Dra. Conceição Maria Alves de A. Guisardi - Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Dr. Danni Conegatti Batista – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Dr. Isael de Jesus Sena - Culture, Education, Formation, Travail (CIRCEFT)
Dra. Mareli Eliane Graupe - Universidade do Planalto Catarinense (Uniplac)
Dr. Rodrigo Avila Colla - Rede Municipal de Ensino de Esteio, RS
Dra. Erika Giacometti Rocha Berribili - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Dr. Douglas Manoel Antonio De Abreu P. Dos Santos - Universidade de São Paulo (USP)
Dra. Aline Luiza de Carvalho - Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais (FHEMIG)
Dr. José Luiz Esteves - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR)
Dr. Claudemir Ramos - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP)
Dra. Daniela Conegatti Batista – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Dr. Wilson de Lima Brito Filho - Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Dra. Cleonice Pereira do Nascimento Bittencourt- Universidade de Brasília (UnB)
Dr. Jonata Ferreira de Moura - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Dra. Renata dos Santos - Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Conselho Técnico Científico

- Dr. Anderson de Souza Gallo - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
 Dra. Antônia Alikeane de Sá - Universidade Federal do Piauí (UFPI)
 Ma. Talita Benedcta Santos Künast - Universidade Federal do Paraná (UFPR)
 Ma. Irene Suelen de Araújo Gomes – Secretaria de Educação do Ceará (Seduc /CE)
 Ma. Tamires Oliveira Gomes - Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)
 Ma. Aline Rocha Rodrigues - União Das Instituições De Serviços, Ensino E Pesquisa LTDA (UNISEPE)
 Me. Mauricio Pavone Rodrigues - Universidade Cidade de São Paulo (Unicid)
 Esp. Rubens Barbosa Rezende – Faculdade UniFB
 Me. Luciano Cabral Rios – Secretaria de Educação do Piauí (Seduc/PI)
 Me. Jhenys Maiker Santos - Universidade Federal do Piauí (UFPI0)
 Dr. Francisco de Paula S. de Araújo Júnior - Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
 Ma. Anna Karla Barros da Trindade - Instituto Federal do Piauí (IFPI)
 Dra. Elaine Fernanda dos Santos - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
 Ma. Lilian Regina Araújo dos Santos - Universidade do Grande Rio (Unigranrio)
 Dra. Luziane Said Cometti Lélis - Universidade Federal do Pará (UFPA)
 Ma. Márcia Antônia Dias Catunda - Devry Brasil
 Ma. Marcia Rebeca de Oliveira - Instituto Federal da Bahia (IFBA)
 Ma. Mariana Moraes Azevedo - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
 Dra. Marlova Giuliani Garcia - Instituto Federal Farroupilha (IFFar)
 Ma. Rosana Maria dos Santos - Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
 Ma. Rosana Wichineski de Lara de Souza - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
 Ma. Simone Ferreira Ângelo - Escola Família Agrícola de Belo Monte - MG
 Ma. Suzel Lima da Silva - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
 Ma. Tatiana Seixas Machado Carpenter - Escola Parque
 Me. Cássio Joaquim Gomes - Instituto Federal de Nova Andradina / Escola E. Manuel Romão
 Me. Daniel Ordane da Costa Vale - Secretaria Municipal de Educação de Contagem
 Me. Diego dos Santos Verri - Secretária da Educação do Rio Grande do Sul
 Me. Fernando Gagno Júnior - SEMED - Guarapari/ES
 Me. Grégory Alves Dionor - Universidade do Estado da Bahia (UNEB)/ Universidade Federal da Bahia (UFBA)
 Me. Lucas Pereira Gandra - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); UNOPAR, Polo Coxim/MS
 Dr. Lucas Peres Guimarães – Secretaria Municipal de Educação de Barra Mansa - RJ
 Dr. Luiz Otávio Rodrigues Mendes - Universidade Estadual de Maringá (UEM)
 Me. Mateus de Souza Duarte - Universidade Federal de Sergipe (UFS)
 Me. Milton Carvalho de Sousa Júnior - Instituto Federal do Amazonas (IFAM)
 Dr. Sebastião Rodrigues Moura - Instituto Federal de Educação do Pará (IFPA)
 Dr. Wanderson Diogo A. da Silva - Universidade Estadual do Ceará (UECE)
 Ma. Heloisa Fernanda Francisco Batista - Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
 Ma. Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

Pesquisas em Ecologia e Sustentabilidade

Volume 3



<http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Pesquisas em ecologia e sustentabilidade [livro eletrônico]: volume 3 / organizadores Érica da Silva Bachetti... [et al.]. -- 3. ed. -- Teresina, PI: Wissen Editora, 2026.
PDF

Vários autores.

Outros organizadores: Karine de Matos Costa, Daniel de Carvalho Silva, Alane Ayana Vieira de Oliveira Couto.

Bibliografia.

ISBN 978-65-85923-98-9

DOI: 10.52832/wed.198

1. Ciências 2. Ecologia - Estudo e ensino 3. Meio ambiente 4. Sustentabilidade I. Bachetti, Érica da Silva. II. Costa, Karine de Matos. III. Silva, Daniel de Carvalho. IV. Couto, Alane Ayana Vieira de Oliveira.

26-351913.0

CDD-304.2

Índices para catálogo sistemático:

1. Sustentabilidade ambiental: Ecologia 304.2

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Informações sobre a Wissen Editora

Homepage: www.editorawissen.com.br

Teresina - Piauí, Brasil

E-mail: wisseneditora@gmail.com

Como citar ABNT: BACHETTI, Érica da Silva; COSTA, Karine de Matos; SILVA, Daniel de Carvalho; COUTO, Alane Ayana Vieira de Oliveira. **Pesquisas em Ecologia e Sustentabilidade.** v. 3, Teresina-PI: Wissen Editora, 2026. 197 p. DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

 **Wissen**
editora
Teresina-PI, 2026

SOBRE OS ORGANIZADORES

Érica da Silva Bachetti



Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del Rei - MG. Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário São Camilo (2005). Especialista em Vigilância Sanitária pelo Centro Universitário São Camilo e em Educação Ambiental pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Técnica em Controle Ambiental pelo Instituto Federal de São João del Rei (IFMG). Atuou como aluna pesquisadora no laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Professora nas disciplinas de Biologia e Ciências na rede do Estado de Minas Gerais. Integrante do Grupo Peninha, atuando como Bióloga na Reserva Ambiental da cidade de Lagoa Dourada-MG. Experiência na área de Biologia Geral, com ênfase em Ecologia, comportamento, enriquecimento ambiental e bem-estar para animais mantidos sob cuidados humanos.

Karine de Matos Costa



Pesquisadora de Pós-doutorado no Programa de pós-graduação em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Pernambuco. Sou licenciada em Biologia e Mestre em Botânica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Pernambuco. Integro o Laboratório Polinizar (UFPE) e o Laboratório de Biologia Reprodutiva de Angiospermas (UFRPE), desenvolvendo pesquisas relacionadas a Ecologia da polinização, atributos florais e seleção fenotípica mediada por polinizadores. Tenho interesse em escrita criativa, escrita científica e ilustração botânica.

Daniel de Carvalho Silva



Bacharel Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas (BICTA) pelo Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Licenciado em Biologia pelo Centro Universitário UniFAVENI. Mestre em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida (PPGSAQ) pelo Instituto de Formação Interdisciplinar e Intercultural (IFII) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Especialista em Docência para o Ensino Superior e MBA em Gestão Ambiental pelo Instituto Mineiro de Ensino Superior (IMES), Psicopedagogia e Neuropsicopedagogia pela Faculdade Estratego (Estratego), e Tutoria em Educação a Distância pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). Desenvolve pesquisas nas áreas de Ecologia de Odonata, Educação e Saúde.

Alane Ayana Vieira de Oliveira Couto   

Bacharela em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2010) e Mestre em Ecologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2013) e Doutora em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Federal da Paraíba (2018). Possui experiência nas áreas de Ecologia e Zoologia (com ênfase em Entomologia) atuando principalmente nos seguintes temas: Ecologia de comunidades, Ecologia de térmitas e Entomologia.

APRESENTAÇÃO

Olá! Sejam bem-vindos(as) à obra intitulada “*Pesquisas em Ecologia e Sustentabilidade*”, volume 3, que reúne produções científicas frutos do III Congresso Nacional de Ecologia e Sustentabilidade On-line (III CONAECOS), que foca na área de Ecologia e Sustentabilidade e possui relevância científica e acadêmica, contribuindo na compreensão dos problemas ambientais e, conseqüentemente, na busca para melhorias capazes de garantir a qualidade e integridade dos ecossistemas.





























































Assim sendo, este material didático sobre Ecologia e Sustentabilidade tem como objetivo, ampliar o conhecimento sobre a importância da preservação e reestruturação do meio ambiente, a fim de promover soluções capazes de garantir a conservação dos sistemas ambientais. Ao longo da leitura, serão apresentadas informações sobre os ecossistemas, a relação entre os seres vivos e o ambiente, além de dicas e práticas que auxiliam na compreensão de cuidar da natureza e reduzir os impactos das atividades humanas no meio ambiente.






































































Dessa forma, esta obra visa incentivar a conscientização ambiental e, preparar cidadãos comprometidos e capazes de enfrentar desafios atuais e futuros de forma a promover inovação, responsabilidade social e melhor qualidade de vida.






























































Portanto, espera-se que este conteúdo contribua para o seu aprendizado sobre Ecologia e Sustentabilidade e desperte ainda mais o interesse pela preservação da nossa biodiversidade.



































































Érica da Silva Bachetti




SUMÁRIO


CAPÍTULO 1.....	17
AS REGENERANTES ESTÃO AQUI? PRESENÇA DE <i>Inga</i> sp. EM DIFERENTES ÁREAS DE RESTAURAÇÃO	17
Gabriela da Silva Messias   	17
Lucas da Costa Fonseca   	17
Sara Ferreira Varela de Lima   	17
Dayane Pereira de Souza   	17
André Felipe Nunes de Freitas   	17
DOI: 10.52832/wed.198.1151 	17
CAPÍTULO 2	27
CADA COISA A SEU TEMPO? A REGENERAÇÃO NATURAL DE <i>Asplenium serratum</i> L. EM ÁREAS DE DIFERENTES IDADES DE RESTAURAÇÃO	27
Sara Ferreira Varela de Lima   	27
Lucas da Costa Fonseca   	27
Gabriela da Silva Messias   	27
Dayane Pereira de Souza   	27
André Felipe Nunes de Freitas   	27
DOI: 10.52832/wed.198.1152 	27
CAPÍTULO 3	38
INTERAÇÕES NATURAIS SOLO-PLANTA: CONTRIBUIÇÕES DA MICROBIOTA NATIVA NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E NO CRESCIMENTO VEGETAL.....	38
Ronald Talyson Peixoto Ferreira   	38
Alida Maisa Dantas Resende   	38
Vitória Ramos Cruz da Silva   	38
Wanderson Siqueira da Silva   	38
Maria Beatriz Nunes dos Santos   	38
Iara Monique Martins de Andrade   	38
Letícia da Luz Nascimento   	38
Kedma Raissa Gomes dos Santos   	38
DOI: 10.52832/wed.198.1153 	38
CAPÍTULO 4	50
PANORAMA CIENTÍFICO DO ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS BRASILEIRAS: 30 ANOS DE EVOLUÇÃO	50
Ludmilla Morais Pereira   	50

Isabel Cristina Caetano Gama   	50
Marcos Antônio Negreiros Dias   	50
Ganito Aubi Ataba   	50
Isabelle da Silva Wolff   	50
José Cícero Pereira Júnior   	50
Luciana Magda de Oliveira   	50
Renisson Neponuceno de Araújo Filho   	50
DOI: 10.52832/wed.198.1154 	50
CAPÍTULO 5	64
MATÉRIA FRESCA E SECA DE GERGELIM SOB IRRIGAÇÃO SALINA COM DIFERENTES DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE CINZAS DA CANA-DE-AÇÚCAR	64
Paloma da Silva Alves   	64
Raissa Mirelle Alves Barbosa   	64
Jakelyne Monair Vieira de Carvalho   	64
Vitor Gabriel Pereira Santos   	64
Edimir Xavier Leal Ferraz   	64
José Edson Florentino de Moraes   	64
Breno Leonan de Carvalho Lima   	64
Raquete Mendes de Lira   	64
DOI: 10.52832/wed.198.1155 	64
CAPÍTULO 6	75
ESTRUTURA DO HABITAT NÃO MODULA A EFICIÊNCIA DE FORRAGEAMENTO DE FORMIGAS (Hymenoptera: Formicidae)	75
Miqueias da Silva Almeida   	75
Izabelle Graziellen Alves Rossi   	75
Heloize Maia Dos Santos   	75
Thiago Ayandro   	75
Pedro Henrique Ferreira Sobrinho   	75
DOI: 10.52832/wed.198.1156 	75
CAPÍTULO 7	86
EFEITO DE EXTRATOS BOTÂNICOS NA DINÂMICA POPULACIONAL DE <i>Plutella xylostella</i> (L. 1758)	86
Jussara Gonçalves Fonseca   	86
Eivelto da Silva Cavalcante   	86

Dilma Marques dos Reis   	86
Rosilda Mara Mussury Franco Silva   	86
DOI: 10.52832/wed.198.1157 	86
CAPÍTULO 8	93
SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO: POTENCIAIS DO MANDACARU (CEREUS JAMACARU DC.) E PALMA FORRAGEIRA [OPUNTIA FÍCUS-INDICA (L.) P. MILL E NOPALEA COCHENILLIFERA (L.) SALM DYCK]) PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL	93
Aliomar Pacheco de Souza Junior   	93
Eduardo Fernandes Barbosa   	93
Rafael da Conceição Simões   	93
DOI: 10.52832/wed.198.1158 	93
CAPÍTULO 9	107
COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA INVERTEBRADA EM VEGETAÇÃO NATIVA E EUCALIPTAL NO BIOMA CAATINGA, EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES, ALAGOAS 107	107
Wellington dos Santos Graciliano   	107
Sherliton da Silva Alves   	107
Leila Caroline Salustiano Silva   	107
Elba dos Santos Lira   	107
Renato Wilian Santos de Lima   	107
Jorge Luiz Lopes da Silva   	107
Kallianna Dantas Araujo   	107
Ana Paula Lopes da Silva   	107
DOI: 10.52832/wed.198.1159 	107
CAPÍTULO 10	120
INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NA COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA INVERTEBRADA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COSTA DOS CORAIS	120
Wellington dos Santos Graciliano   	120
Renato Wilian Santos de Lima   	120
Maria Hortência da Silva Targino   	120
Radjalma Almerino dos Santos   	120
Élida Monique da Costa Santos   	120
Kallianna Dantas Araujo   	120
DOI: 10.52832/wed.198.1160 	120
CAPÍTULO 11	133




DEGRADAÇÃO E PERCEPÇÃO AMBIENTAL: O RETRATO DA POLUIÇÃO NA LAGUNA MANGUABA – ALAGOAS	133
Nayara Barreto da Costa   	133
Nataniely de Farias Nogueira   	133
Everson de Oliveira Santos   	133
Rayanne Santos de Almeida Mendonça   	133
José Marcelo Lopes Júnior   	133
Amanda Vieira da Silva Lima   	133
Lorrany Barreto da Costa   	133
DOI: 10.52832/wed.198.1161 	133
CAPÍTULO 12	145
VARIABILIDADE E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NO RESERVATÓRIO TAPEROÁ, SEMIÁRIDO PARAIBANO	145
Nayara Barreto da Costa   	145
Clara Galacho Leal   	145
Jean Pierre Ometto   	145
DOI: 10.52832/wed.198.1162 	145
CAPÍTULO 13	160
ANÁLISE MULTITEMPORAL POR GEOPROCESSAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA EM ÁREA DE INTERVENÇÃO PAISAGÍSTICA (2021–2025)	160
Rosivaldo Machado da Silva Junior   	160
Isadora Pires Lopes   	160
Flavielli Porto da Silva   	160
Maria Eduarda Coutinho   	160
Ellen Jardyelle de Carvalho da Conceição   	160
Maíra Martins de Freitas   	160
Bárbara Vieira dos Santos   	160
Jéssica Karina Mesquita Vieira   	160
Paula Andressa Sena Ferreira   	160
Lidiane Machado Dionizio   	160
DOI: 10.52832/wed.198.1163 	160
CAPÍTULO 14	172
CARTOGRAFIA TEMPORAL DE BIÓTOPOS: RELAÇÕES ECOSISTÊMICAS DA USINA HIDRELÉTRICA BARRA DO BRAÚNA, MINAS GERAIS	172
Gabriel Mendes Petito   	172


Roberto Marques Neto   172

DOI: 10.52832/wed.198.1164 172

CAPÍTULO 15.....184

**REGIÃO SUDESTE COMO EPICENTRO DA MALÁRIA EXTRA-AMAZÔNICA NO
BRASIL: UMA ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS CASOS NOTIFICADOS NO
PERÍODO DE 2007 A 2024.....184**

Aquirya Pinheiro Costa   184

DOI: 10.52832/wed.198.1165 184

CAPÍTULO 1

AS REGENERANTES ESTÃO AQUI? PRESENÇA DE *Inga* sp. EM DIFERENTES ÁREAS DE RESTAURAÇÃO

ARE THE REGENERATING PLANTS PRESENT HERE? PRESENCE OF *Inga* sp. IN DIFFERENT RESTORATION AREAS

Gabriela da Silva Messias   




Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Curitiba, SC, Brasil

Lucas da Costa Fonseca   

Mestre em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Vitória da Conquista-BA Brasil

Sara Ferreira Varela de Lima   


Graduação em Ciências Biológicas, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste do Rio de Janeiro (UEZO), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

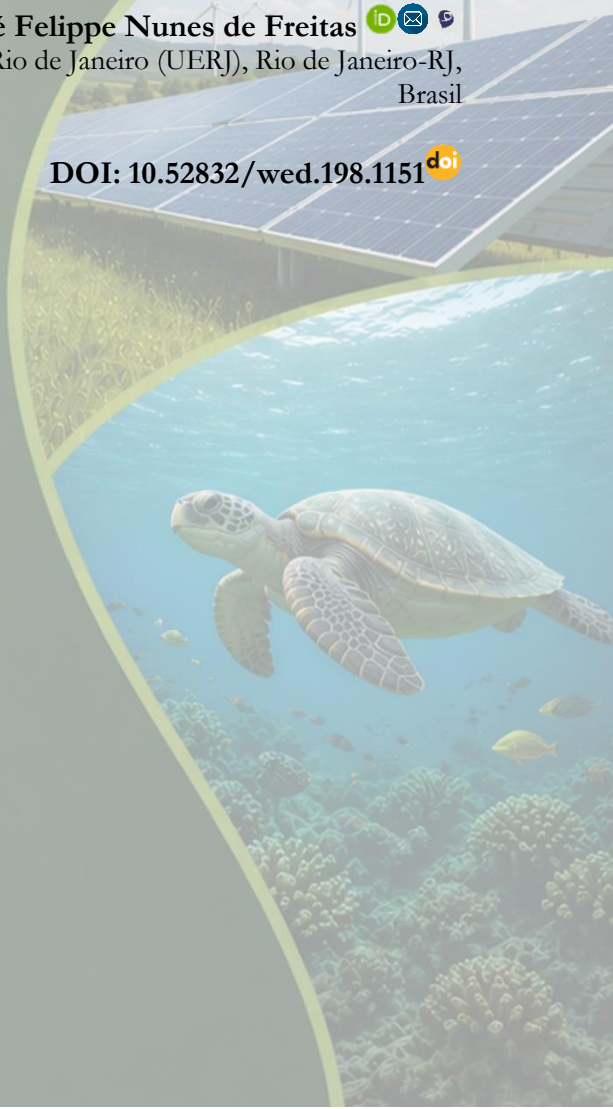
Dayane Pereira de Souza   

Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil

André Felipe Nunes de Freitas   

Doutor em Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1151 



Resumo: A regeneração natural é uma estratégia amplamente empregada na restauração ecológica devido ao seu baixo custo e elevada eficiência. Nesse contexto, espécies pioneiras com alto potencial colonizador são frequentemente utilizadas, destacando-se aquelas do gênero *Inga* sp., reconhecidas por sua elevada capacidade de regeneração e importância ecológica. O presente estudo teve como objetivo avaliar a regeneração natural de *Inga* sp. sob influência de diferentes estágios sucessionais, bem como comparar a abundância total da espécie com o número de indivíduos que apresentaram sinais de herbivoria. A pesquisa foi conduzida na Reserva Ecológica do Guapiaçu (REGUA), no estado do Rio de Janeiro, em duas trilhas com idades e estágios sucessionais distintos. Foram amostrados indivíduos regenerantes registrando dados de abundância e sanidade. Os resultados indicaram a presença da espécie em ambos os estágios sucessionais, sem diferença significativa na abundância entre as trilhas. Entretanto, a maioria dos indivíduos apresentou sinais de herbivoria, com 93,8% dos regenerantes afetados. Esses achados evidenciam que a espécie possui elevado potencial de regeneração natural, a fauna exerce forte influência sobre a sanidade dos indivíduos jovens. Conclui-se que *Inga* sp. apresenta alta capacidade de regeneração independentemente do estágio sucessional, porém está sujeita a elevadas taxas de herbivoria, o que pode representar um fator limitante para o estabelecimento e desenvolvimento dos regenerantes.

Palavras-chave: Regeneração. Herbivoria. Estágio de Sucessão.

Abstract: Natural regeneration is a widely used strategy in ecological restoration due to its low cost and high efficiency. In this context, pioneer species with high colonization potential are frequently used, especially those of the genus *Inga* sp., recognized for their high regeneration capacity and ecological importance. This study aimed to evaluate the natural regeneration of *Inga* sp. under the influence of different successional stages, as well as to compare the total abundance of the species with the number of individuals showing signs of herbivory. The research was conducted in the Guapiaçu Ecological Reserve (REGUA), in the state of Rio de Janeiro, on two trails with different ages and successional stages. Regenerating individuals were sampled, recording abundance and health data. The results indicated the presence of the species in both successional stages, with no significant difference in abundance between the trails. However, most individuals showed signs of herbivory, with 93.8% of the regenerants affected. These findings demonstrate that the species has a high potential for natural regeneration, and the fauna exerts a strong influence on the health of young individuals. It can be concluded that *Inga* sp. exhibits a high capacity for regeneration regardless of the successional stage, but is subject to high herbivory rates, which may represent a limiting factor for the establishment and development of regenerants.

Keywords: Regeneration. Herbivory. Succession stage.

1 INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento econômico no Brasil ocorreu através da utilização dos recursos florestais e pela transformação de florestas em áreas agrícolas (Vogt *et al.*, 2011). Estes processos foram marcados pela falta de planejamento e transformação intensa dos ecossistemas, dando origem a impactos ambientais negativos, como o desmatamento e a extinção de espécies (Dean, 1996). Para o enfrentamento dessas problemáticas, foram utilizadas técnicas de recuperação ambiental, que vêm ganhando visibilidade, reconhecimento, políticas públicas e estudos de aperfeiçoamento.

A recuperação de áreas degradadas tem como objetivo auxiliar no restabelecimento de ecossistemas degradados (Durigan, 2011). Esse objetivo se encaixa com o ideal da restauração florestal, que possui como foco a recuperação dos processos ecológicos em comunidades florestais (SER, 2004). Mas ambos os processos possuem como limitante os custos econômicos elevados, que dificultam a sua implantação.

Deste modo, técnicas e tecnologias responsáveis por auxiliar e elevar as chances de sucesso, que reduzem os custos de restauração, são cruciais para o aumento dessas atividades (Rodrigues *et al.*, 2009; Elliot, 2016). Dentre essas técnicas está a regeneração natural de áreas, possuindo elevada importância no auxílio da cobertura do solo, no incremento da biodiversidade e representação da futura composição florística das áreas, possibilitando a manutenção das populações (Garcia *et al.*, 2011, Schievenin *et al.*, 2012, Fernandes *et al.*, 2019, Hüller *et al.*, 2019, Miyamura *et al.*, 2019).

O processo de regeneração natural é capaz de auxiliar a sustentabilidade de um ecossistema florestal, estando ligado a diversos fatores, como ao aporte de sementes presentes na camada superficial do solo e na serapilheira, a presença de fragmentos florestais no entorno, ao estágio sucessional das florestas, interação fauna/flora e biologia das espécies (Gandolfi *et al.*, 2007).

Entre as espécies que podem ser utilizadas nos processos de recuperação ambiental, consideradas regenerantes estão as espécies do gênero *Inga* sp.. Este gênero pertence à família das leguminosas, terceira maior família de fanerógamas (Barroso *et al.*, 1991), da tribo Ingeae, e possui cerca de 300 espécies lenhosas descritas e distribuídas na região neotropical (Sousa, 2009). As espécies do gênero estão localizadas nos biomas Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal, com cerca de 134 espécies (Garcia; Bonadeu, 2024). O gênero caracteriza-se por apresentar folhas paripinadas, com nectário na raque foliar, com fruto do tipo vagem, com importância ecológica para a fauna (Koptur, 1994; Ragusa-Neto; Fecchio, 2006).

Levando em consideração o processo de regeneração natural da Reserva Ecológica do Guapiaçu, este estudo parte da hipótese de que *Inga* sp. ocorre como regenerante em dois estágios sucessionais distintos e que os indivíduos apresentam boa sanidade. O objetivo geral é avaliar se a regeneração natural de *Inga* sp. sofre influência dos diferentes estágios sucessionais das áreas estudadas. Como objetivo específico, busca-se comparar a abundância total da espécie com o número de indivíduos que apresentam sinais de herbivoria.

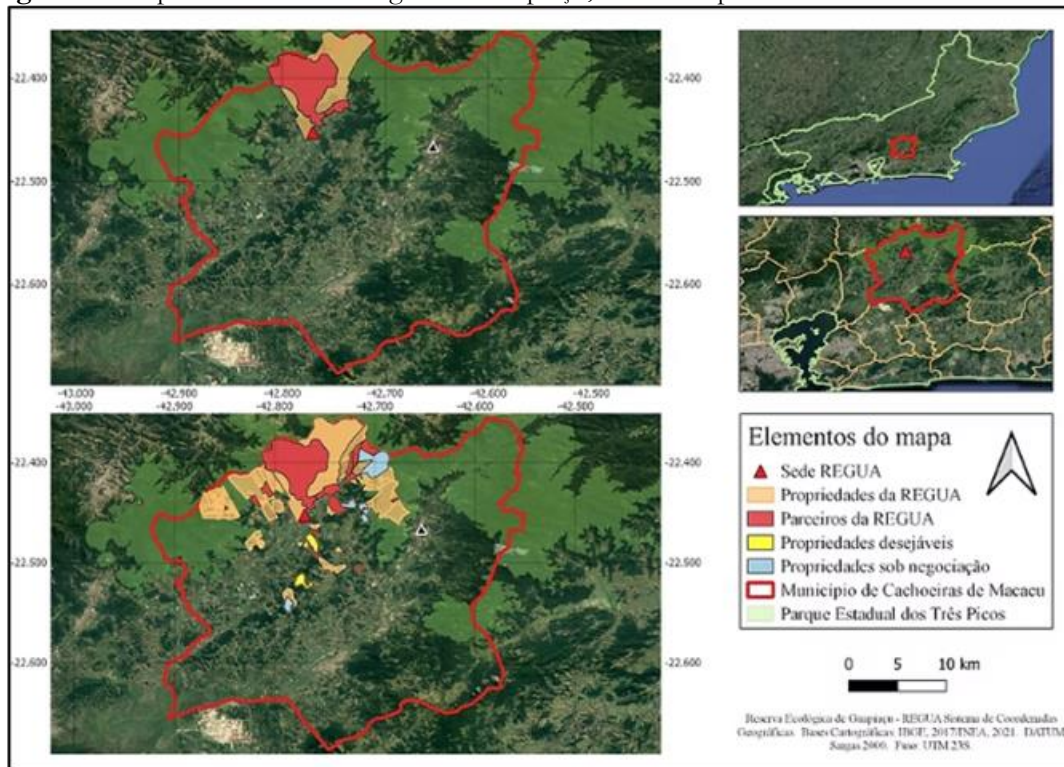
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O presente estudo ocorreu na Reserva Ecológica do Guapiaçu localizado na comunidade rural do Guapiaçu, no Município de Cachoeiras do Macacu, no estado do Rio de Janeiro (Figura

1). Está inserida na Serra do Mar, pertencente ao morfoclima de “mares de morros florestais”, onde sua vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana. De acordo com Köppen (1948), o tipo climático da região é Af, com clima quente, úmido e sem estação de seca marcada.

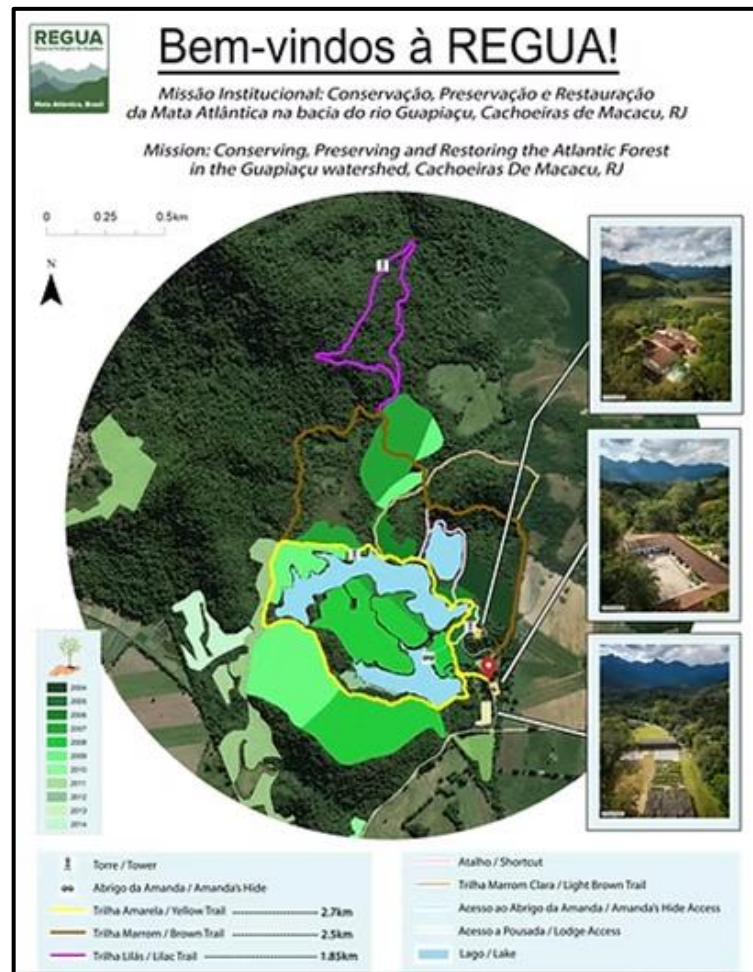
Figura 1 – Mapa da Reserva Ecológica do Guapiaçu, no Município de Cachoeiras do Macacu-RJ.



Fonte: REGUA, 2025.

A Reserva é uma propriedade particular, fundada em 1989, com cerca de 10.639 hectares, teve grande parte da sua vegetação convertida em pastagem e plantação de banana entre 1915 e 1920. Mas com o objetivo de preservar as formações florestais em estágio sucessional avançado nas áreas mais altas, a propriedade foi se transformando e em 2004 as práticas agropecuárias foram suspensas e deu-se início às atividades de recuperação onde essas práticas ocorriam. A reserva é reconhecida como Reserva Particular do Patrimônio Natural desde 2013 (INEA/RJ/PRES nº 477 de 31/jul./2013), atualmente possui alagados e diversas trilhas com florestas de idades sucessionais diferentes (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de apresentação da Reserva Ecológica do Guapiaçu, demonstrando a delimitação de trilhas e demais áreas da reserva



Fonte: REGUA, 2025.

O presente estudo tem como foco as Trilhas Amarela e Marrom. A Trilha Amarela possui cerca de 2.700 m de extensão, possui aproximadamente 7 anos de idade, com estágio sucessional inicial. Entretanto, a Trilha Marrom possui cerca de 2.400 m de extensão, com aproximadamente 15 anos de idade e de estágio sucessional intermediário (Murakami, 2019).

2.3 Metodologia da pesquisa

Para a coleta de dados do presente estudo foi utilizado um gabarito de 1,0 m², para determinação das parcelas. O local onde as parcelas foram instaladas nas trilhas foi feito de maneira aleatória a partir do caminhamento livre, sendo instaladas dez parcelas no interior de cada uma das duas trilhas, totalizando 20 parcelas (Figura 3A). Para eliminação do efeito de borda, as parcelas foram instaladas a no mínimo 5 metros de distância das bordas das trilhas e com distância mínima entre parcelas de 10 metros. Foram coletados os dados de abundância de *Inga* regenerante e o

número de indivíduos da espécie que apresentaram herbivoria, a partir da contabilização de indivíduos com até 40 cm (Figura 3B).

Os dados foram submetidos ao Teste comparativo de Wilcoxon signed-rank, no *software* Rstudio, versão 4.1.2.

Figura 3 – A) Parcela instalada para a quantificação de *Inga* sp. nas trilhas Amarela e Marrom, da REGUA. **B)** *Inga* herbivorado presente nas parcelas encontradas nas trilhas Amarela e Marrom, da Régua, no município de Cachoeiras de Macacu, RJ.

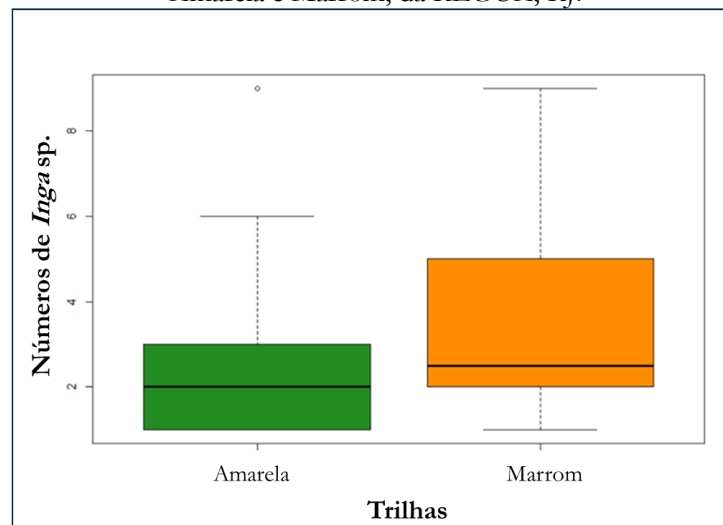


Fonte: Messias, 2025.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi registrado um total de 65 indivíduos de *Inga* sp, dos quais 29 (44,6% do total) foram encontrados na trilha Amarela, enquanto 36 (55,4%) na trilha Marrom. No entanto, as trilhas não diferiram na abundância de indivíduos (Teste de Wilcoxon: $p = 0,439$) (Figura 4).

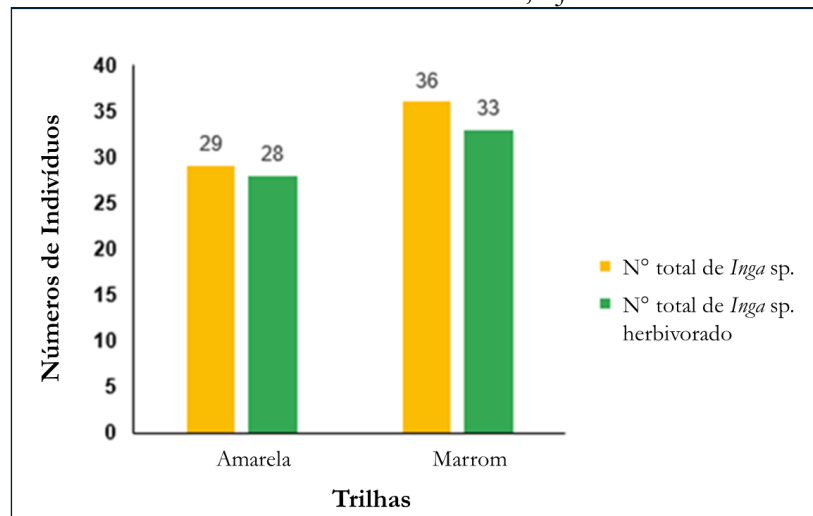
Figura 4 – Boxplot de representação de medianas de abundância de *Inga* sp. regenerantes nas trilhas Amarela e Marrom, da REGUA, RJ.



Fonte: Messias, 2025.

Em ambas as trilhas, o número de indivíduos herbivorados foi maior que o de não-herbivorados (Figura 5). No entanto, não houve diferença no número de indivíduos herbivorados e não herbivorados tanto considerando as duas trilhas conjuntamente (Teste de Wilcoxon: $p = 0,0718$), quanto quando consideradas as trilhas amarelas (Teste de Wilcoxon: $p = 1,0$) e marrom (Teste de Wilcoxon: $p = 0,1489$), separadamente.

Figura 5 – Boxplot de representação de medianas de abundância de *Inga* sp. regenerantes nas trilhas Amarela e Marrom da REGUA, RJ.



Fonte: Messias, 2025.

Os resultados do presente estudo demonstram que *Inga* sp. possui um elevado potencial de regeneração nas trilhas analisadas, não sendo influenciado pelo estágio sucessional (inicial e médio). Este elevado potencial pode não ser visto em locais de estágio sucessional avançado, levando em consideração a alta cobertura vegetal das florestas e que esta espécie é considerada pioneira ou secundária inicial (Neto *et al.*, 2012; Silva; Melo, 2013).

Silva e Melo (2013) também encontraram espécies do gênero *Inga* em dois fragmentos distintos, corroborando os resultados do presente estudo quanto ao alto potencial de regeneração dessas espécies.

Já Schievenin *et al.* (2011) não encontraram *Inga* sp. como regenerante em sua área de estudo, mas apenas como uma espécie implantada no início do processo de restauração do local. Considerando que a regeneração natural das espécies está relacionada com a disponibilidade de sementes, levando em conta que os indivíduos encontrados pelos autores ainda não produziam flores nem frutos, este pode ser um fator limitante a regeneração da espécie no local (Gandolfi *et al.*, 2007; Martins, 2009).

Neto *et al.* (2012) não apresentaram a presença de *Inga* sp. como regenerante em seu local de estudo, o que difere dos resultados obtidos no presente trabalho. Essa divergência pode ter

ocorrido pela diferença do estágio sucessional das áreas estudadas, pois o local onde os autores realizaram seus estudos possuía um estágio sucessional avançado.

Com relação à sanidade das regenerantes de *Inga* sp. nas trilhas amarela e marrom, observou-se elevada herbivoria, embora não tenha sido possível identificar o agente causador. Levando em conta que foi observada a presença de outras regenerantes nas trilhas e que ainda assim, o *Inga* sofreu danos expressivos, isso pode demonstrar uma alta preferência do provável herbívoro em se alimentar do indivíduo foco deste estudo (Dias-Sversutti *et al.*, 2007).

Esta herbivoria pode representar uma interação entre a fauna e flora das trilhas estudadas, demonstrando que o *Inga* sp. é responsável por atrair agentes herbívoros, contribuindo para o enriquecimento da fauna do local e estabelecendo o sucesso dos processos de restauração (Schievenin *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2019; Hüller *et al.*, 2019; Miyamura *et al.*, 2019). Casimiro (2023) demonstra em seu estudo a capacidade de espécies do gênero *Inga* em auxiliar no enriquecimento da comunidade de artrópodes, corroborando os resultados do presente estudo.

Mas é necessário realçar que os resultados encontrados podem apresentar um desequilíbrio funcional das áreas estudadas, onde há uma quantidade maior de indivíduos de *Inga* sp. herbivorados do que saudáveis, já que este fator influencia diretamente na fotossíntese, diminuindo a área foliar da espécie (Barbosa *et al.*, 2021). Sendo assim, recomenda-se que sejam realizados mais estudos para verificar a fitossanidade das trilhas e das espécies regenerantes do local.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que à presença de *Inga* sp., esteve presente como regenerante nos dois estágios sucessionais estudados, sendo abundante em ambas as trilhas. Com isso, a regeneração da espécie não é afetada significativamente pelos diferentes estágios sucessionais estudados. Entretanto observa-se que maior parte dos indivíduos são herbivorados o que evidencia comprometimento da sanidade vegetal da população das áreas.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, G. S.; MONTEIRO, J. V. S.; GONÇALVES, M. P. M. Fitossanidade de espécies florestais em área em restauração na Estação Ecológica de Caetés. **Revista Principia**, v. 59, n. 1, p. 72–81, 2021.
- BARROSO, G. M. *et al.* **Sistemática das angiospermas do Brasil**. v. 2. Viçosa, MG: UFV, 1991. 377 p.
- CASIMIRO, M. S. **Monitorando a restauração florestal: o efeito de quatro espécies de árvores plantadas sobre a comunidade de artrópodes na Mata Atlântica**. 2023. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira.** Tradução de Carlos K. Moreira. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 484 p.
- DIAS-SVERSUTTI, A. C. *et al.* Estudo preliminar da preferência alimentar de *Nyssomyia neivai* e *Nyssomyia whitmani* (Diptera: Psychodidae) em área rural do Paraná. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 6, p. 953–959, 2007.
- DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. **Cadernos da Mata Ciliar**, v. 4, p. 11–13, 2011. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar/>. Acesso em: 03 de ago. 2025.
- ELLIOTT, S. The potential of automating assisted natural regeneration of tropical forest ecosystems. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 825–833, 2016. DOI: 10.1111/btp.12387.
- FERNANDES, M. M. *et al.* Regeneração natural em fragmento de Floresta Ombrófila Semidecidual em Sergipe, Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, n. 2, 2019. DOI: 10.5902/2316980X28813.
- GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V. Bases teóricas da restauração ecológica florestal. In: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (org.). **High diversity forest restoration in degraded areas.** New York: Nova Science Publishers, 2007. p. 27–60.
- GARCÍA, J.; MONTILLA, R. Himenópteros parasitoides de insectos asociados a las plantaciones de cacao en la región costera del estado Aragua, Venezuela. **Agronomía Tropical**, v. 60, n. 1, p. 91–97, 2010.
- GARCIA, C. C. *et al.* Regeneração natural de espécies arbóreas em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana no domínio da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 677–688, 2011. DOI: 10.5902/198050984512.
- HÜLLER, A. *et al.* Regeneração natural do componente arbóreo e arbustivo do Parque Natural Municipal de Santo Ângelo, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 1, p. 25–35, 2019. DOI: 10.5380/revsbau.v6i1.66387.
- KOPTUR, S. Floral and extrafloral nectars of Costa Rican Inga trees: a comparison of their constituents and composition. **Biotropica**, v. 26, n. 3, p. 276–284, 1994.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas:** ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2009. 270 p.
- MIYAMURA, F. Z. *et al.* Influência de espécies exóticas invasoras na regeneração natural de um fragmento florestal urbano. **Scientia Plena**, v. 15, n. 8, 2019. DOI: 10.14808/sci.plena.2019.082401.
- MURAKAMI, M. M. da S. **Epífitas vasculares nas trilhas da Reserva Ecológica de Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ:** estrutura da comunidade e guia de campo. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

NETO, A. M. *et al.* Estrato de regeneração natural de uma floresta restaurada com 40 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 409–420, 2012.

RAGUSA-NETTO, J.; FECCHIO, A. Plant food resources in the diet of a parrot community in a gallery forest of the southern Pantanal, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 4, p. 1021–1032, 2006.

RODRIGUES, R. R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242–1251, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.008.

SCHIEVENIN, D. F. *et al.* Monitoramento de área de restauração florestal. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 18, n. 1, p. 95–108, 2012.

SER – SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica. Versão 2**. Tucson: SER, 2004. Disponível em: <https://www.ser.org>. Acesso em: 03 de ago. 2025.

SILVA, J. M.; MELO, E. M. Regeneração natural e sucessão ecológica de espécies arbóreas da família Fabaceae em fragmentos de floresta urbana em Camaragibe, PE. **Brazilian Geographical Journal**, v. 4, n. 2, p. 584–594, 2013.

SOUSA, M. Adiciones al género *Inga* (Ingeae, Mimosoideae, Leguminosae) para la flora mesoamericana. **Acta Botanica Mexicana**, n. 89, p. 25–41, 2009.

VOGT, J. V. *et al.* Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches. **Land Degradation & Development**, v. 22, p. 150–165, 2011. DOI: 10.1002/ldr.1075.

CAPÍTULO 2

CADA COISA A SEU TEMPO? A REGENERAÇÃO NATURAL DE *Asplenium serratum* L. EM ÁREAS DE DIFERENTES IDADES DE RESTAURAÇÃO

EVERYTHING IN ITS OWN TIME? THE NATURAL REGENERATION OF *Asplenium serratum* L. IN AREAS OF DIFFERENT AGES OF RESTORATION

Sara Ferreira Varela de Lima   


Graduação em Ciências Biológicas, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste do Rio de Janeiro (UEZO), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Lucas da Costa Fonseca   




Mestre em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Vitória da Conquista-BA, Brasil

Gabriela da Silva Messias   


Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Curitibanos, SC, Brasil

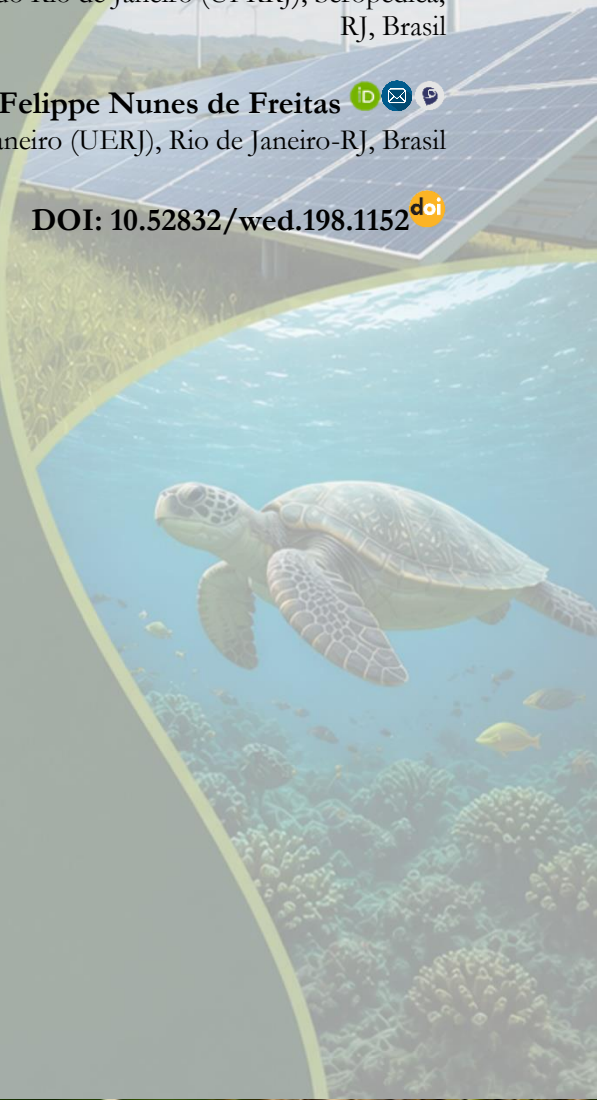
Dayane Pereira de Souza   

Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil

André Felipe Nunes de Freitas   

Doutor em Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1152 



Resumo: Projetos de restauração ecológica têm sido implementados visando restabelecer as funções ecossistêmicas, aumentando a biodiversidade da Floresta Atlântica. Este estudo objetivou investigar a influência do tempo de restauração florestal na regeneração natural de *Asplenium serratum* L., por meio de sua abundância e distribuição vertical, em três trilhas com diferentes estágios de restauração, na Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), Rio de Janeiro (RJ). Para tanto, foram estabelecidas dez parcelas de 50 × 3 m, em cada trilha, onde todas as árvores com CAP ≥ 20 cm foram avaliadas. A distribuição vertical foi analisada baseada no modelo de divisão do forófito proposto por Johansson (1974), todavia considerando-se apenas as zonas de altura II e III. Os resultados indicaram maior abundância na trilha roxa (194), seguida pela marrom (32) e nenhum registro na trilha amarela. Quanto à distribuição vertical, a maior abundância foi observada na zona 3 (copa interna). Conclui-se que o tempo de restauração influencia positivamente a regeneração de *A. serratum*, e que a presença de árvores relictuais também pode ter contribuído para a ocorrência de *A. serratum* nas áreas restauradas. Por fim, o estudo destaca a importância de compreender a regeneração de epífitas como subsídio para ações de restauração florestal.

Palavras-chave: Epífitas vasculares. Heterogeneidade ambiental. Sucessão ecológica.

Abstract: Ecological restoration projects have been implemented aiming to restore ecosystem functions, increasing the biodiversity of the Atlantic Forest. This study aimed to investigate the influence of forest restoration time on the natural regeneration of *Asplenium serratum* L., through its abundance and vertical distribution, in three trails with different stages of restoration, in the Guapiaçu Ecological Reserve (REGUA), Rio de Janeiro (RJ). To this end, ten 50 × 3 m plots were established in each trail, where all trees with a DBH ≥ 20 cm were evaluated. The vertical distribution was analyzed based on the phorophyte division model proposed by Johansson (1974), however considering only height zones II and III. The results indicated greater abundance in the purple trail (194), followed by the brown trail (32), and no records in the yellow trail. Regarding vertical distribution, the greatest abundance was observed in zone 3 (inner canopy). It is concluded that the restoration time positively influences the regeneration of *A. serratum*, and that the presence of relictual trees may also have contributed to the occurrence of *A. serratum* in the restored areas. Finally, the study highlights the importance of understanding epiphyte regeneration as a basis for forest restoration actions.

Keywords: Vascular epiphytes. Environmental heterogeneity. Ecological succession.

1 INTRODUÇÃO

Devido a Floresta Atlântica encontrar-se em um estado avançado de degradação e apresentar elevado grau de endemismo, o que a caracteriza um hotspot mundial de diversidade biológica (Myers *et al.*, 2000), inúmeras técnicas de restauração ecológica tem sido empregadas, objetivando possibilitar a sucessão natural, a diversidade biológica e restabelecer processos ecológicos (Nery *et al.*, 2013; Moreira; Fontelles; Meireles, 2017), de modo que estes ambientes degradados se estabeleçam ecologicamente e sejam mantenedores de estabilidade e resiliência dos ecossistemas (Tres *et al.*, 2007).

Dentre as técnicas de restauração, pode-se citar a nucleação, regeneração natural assistida (condução da regeneração), transposição do solo e serapilheira, poleiros artificiais, semeadura direta

(Martins, 2018) e plantio de mudas, a qual pesquisadores têm dado mais atenção e observado a influência da mesma, sobre a regeneração natural em áreas de restauração florestal (Suganuma *et al.*, 2014). A regeneração mostra grande significância ao estabelecimento de ecossistemas (Gama *et al.*, 2002) por proporcionar o enriquecimento gradual de espécies, seguido pelo aumento de complexidade estrutural da floresta, sendo considerada um processo de sucessão ecológica, antecedida por algum distúrbio (Chazdon, 2012).

O epifitismo influencia a dinâmica florestal ao captar e reintegrar energia e matéria orgânica ao ecossistema (Nadkarni, 1984), a serrapilheira produzida por epífitas apresenta maior concentração de nutrientes em comparação à proveniente de espécies arbóreas (Nadkarni; Matelson, 1992). *Asplenium* é um gênero da família Aspleniaceae, com 74 espécies identificadas no Brasil, entre elas *Asplenium serratum* L. (Sylvestre, 2015). Essa espécie indica hábito epifítico e pode ser categorizada segundo a sua fidelidade ao substrato, como epífitas facultativas, que habitam tanto o dossel quanto o solo da floresta (Benzing, 1990). Elas também podem ter hábito rupícola (Sylvestre, 2015), mas é encontrada frequentemente como epífita (Paciencia; Prado, 2005; Salino; Almeida, 2008; Murakami, 2019; Sampaio *et al.*, 2020; Sylvestre *et al.*, 2023).

Embora a presença do componente epifítico coopere com a diversidade das florestas tropicais (Nadkarni, 1984; Rocha *et al.*, 2000; Nadkarni *et al.*, 2004) e *A. serratum* seja abundante nesses ecossistemas, a guilda como um todo e a espécie supracitada, não recebem a atenção necessária em projetos de restauração de áreas degradadas, assim como outras formas de vida não-arbóreas (Belloto *et al.*, 2009; Francisco *et al.*, 2018). Desse modo, considerando que as epífitas são um bom objeto de estudo voltado à caracterização do estado da regeneração florestal (Triana-Moreno *et al.* 2003) e um bom indicador do estado de conservação de ecossistemas (Triana-Moreno *et al.*, 2003; Bataghin *et al.*, 2012).

Partindo dessa premissa, a hipótese é que a área com idade de restauração mais avançada apresentará maior abundância de *A. serratum* em comparação às áreas em estágios mais recentes, e que a distribuição vertical da espécie nos forófitos ocorrerá majoritariamente no fuste, devido ao histórico de perturbação antrópica modificar a estrutura florestal e conseqüentemente o padrão de luminosidade. Desse modo, o objetivo geral do trabalho é avaliar a influência do tempo de restauração na abundância de *A. serratum*. Para isso, os objetivos específicos foram: i) comparar a ocorrência de *A. serratum* em áreas com diferentes idades de restauração e; ii) analisar a distribuição vertical da espécie nos forófitos dessas áreas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), fundada em 1989, é uma propriedade privada com aproximadamente 7.380 ha de extensão (Correa, 2018), que conta com cinco Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), consideradas Unidades de Conservação de Uso Sustentável (Brasil, 2000), averbadas junto ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA), totalizando cerca de 730 ha (REGUA).

A REGUA está localizada no município de Cachoeiras de Macacu, estado do Rio de Janeiro, Brasil, e inserida no domínio da Floresta Atlântica. Originalmente coberta por formações de distintas fitofisionomias de floresta ombrófila densa (Azevedo, 2012). Conjuntamente às atividades de restauração, a REGUA viabilizou diferentes trilhas de visitação, objetivando o lazer, ações de educação ambiental, observação de aves e o desenvolvimento de pesquisas científicas, onde nas partes de altitude mais baixa, encontram-se as trilhas Amarela e a Marrom e com declividade a trilha roxa.

A Trilha Amarela possui cerca de 2.700 m, estabelecida no entorno de uma área alagada, a partir da reestruturação de um componente lântico, com formação florestal em estágio secundário inicial, proveniente de projetos de reflorestamento ocorridos por volta dos anos de 2011 e 2012. Apresenta espécies arbóreas pioneiras, de baixo porte e copa rala, pouca ocorrência de epífitas vasculares, demonstra altos níveis de insolação, e maior ocorrência de ventos. A Trilha Marrom, estende-se aproximadamente por 2.400 m e é composta por vegetação em estágio médio de regeneração. Seu reflorestamento teve início no ano de 2010 e é caracterizada por possuir menor grau de perturbação, com sub-bosque constituente por um estrato herbáceo, arbustivo de médio porte e arvoretas, menor incidência de luminosidade e de vento e maior umidade (Murakami, 2019).

Em alguns trechos revela clareiras e bananais (observação pessoal) e a presença de epífitas é menos rara, do que na Trilha Amarela (Murakami, 2019). A Trilha Roxa, constitui-se com cerca de 1.850 metros, é uma trilha circular, como extensão da Marrom (REGUA, 2025), apresentando dessa forma, o mesmo tempo de reflorestamento e estágio de regeneração. Todavia, observa-se em alguns trechos, um dossel mais fechado com presença do estrato epifítico. Assim como na Trilha Marrom, o sub-bosque é mais sombreado e um pouco mais úmido, além de conter um riacho passando pela mesma (observação pessoal).

2.3 Metodologia da pesquisa

A coleta de dados foi realizada em trechos das três trilhas supracitadas (Amarela, Marrom e Roxa). Foram estabelecidas dez parcelas de 50 x 3 metros, arranjadas paralelamente à borda da

trilha e intercaladas em lados opostos, uma à esquerda, a seguinte à direita, sucessivamente até completar cinco parcelas de cada lado, totalizando 500 metros em cada trilha. Dentro de cada parcela, todas as árvores com CAP (circunferência à altura do peito) ≥ 20 cm foram amostradas quanto à abundância de *A. Serratum*.

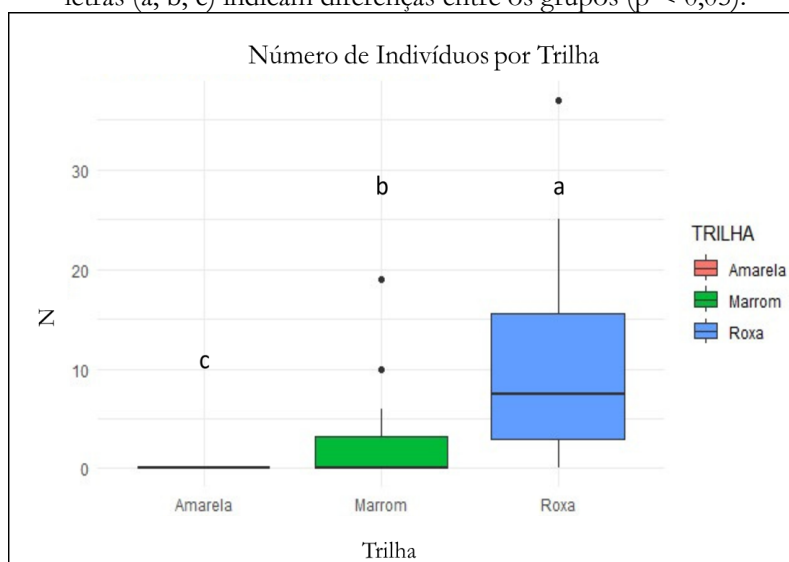
Para analisar o padrão de distribuição vertical da população, utilizou-se uma adaptação do método de divisão do forófito de Johansson (1974), onde a árvore é dividida em cinco zonas de altura. Para este levantamento, observaram-se apenas as zonas II (fuste) e III (dossel inferior e ramificações principais), e os indivíduos de *A. serratum* presentes nessas faixas foram quantificados por contagem simples.

Para verificar as variáveis, ou seja, se haveria diferença significativa entre os dados respostas em cada trilha, foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis. Quanto à comparação dos dados obtidos entre as três trilhas, foi feita com o Teste de Wilcoxon. Todos os testes foram realizados no programa estatístico R.

3 RESULTADOS DISCUSSÃO

A Trilha Amarela não apresentou ocorrência de *A. serratum*. Na Trilha Marrom, foram registrados 32 indivíduos, geralmente em pequenas quantidades, com algumas exceções de maior abundância. Na Trilha Roxa, foram encontrados 194 indivíduos, apresentando a maior abundância e variabilidade entre as trilhas ($p < 0,05$) (Figura 1).

Figura 1 – Abundância de *Asplenium serratum*. Nos trechos estudados das Trilhas Amarela, Marrom (em verde) e Roxa (azul) da Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), Cachoeiras de Macacu, RJ, Brasil. As letras (a, b, c) indicam diferenças entre os grupos ($p < 0,05$).



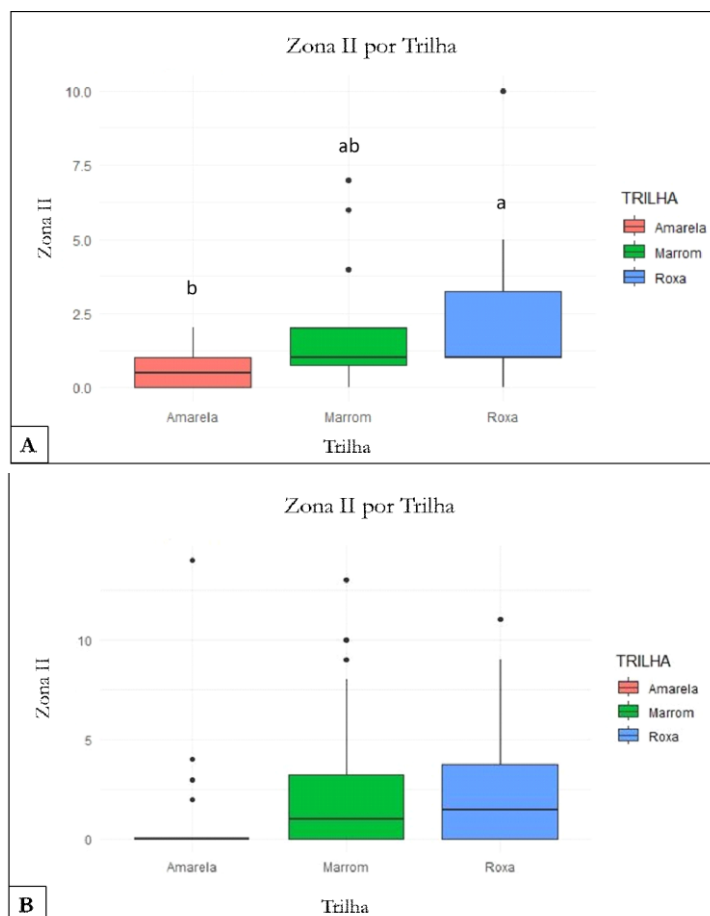
Fonte: Lima, 2025.

Os forófitos mostraram diferença na zona II ($p = 0,07$). A Trilha Roxa registrou o maior número de indivíduos nessa zona, além de maior variação, sendo indicada com a letra “a”. A Trilha

Marrom teve valores intermediários, com alguns picos isolados, todavia metade das parcelas não tiveram ocorrência de *A. serratum*. Já na Trilha Amarela, não houve registros de indivíduos da espécie estudada (indicada com a letra “b”). Estatisticamente, a Trilha Marrom foi apontada como similar às demais, sendo sinalizada com as letras “ab” (Figura 2A).

Nenhuma das trilhas apresentou diferença na zona III ($p = 0,05$) (Figura 2B). Embora as trilhas Marrom e Roxa compartilhem medianas semelhantes, as mesmas diferem sutilmente em sua distribuição. A Trilha Roxa apresentou uma distribuição ligeiramente mais estável, enquanto a Trilha Marrom, maior dispersão. Entretanto, a Trilha Amarela mostrou ausência completa nas duas zonas, uma vez que não apresentou ocorrência da espécie estudada. A sequência consecutiva de forófitos sem *A. serratum* pode ter contribuído para a ausência de diferenças estatísticas.

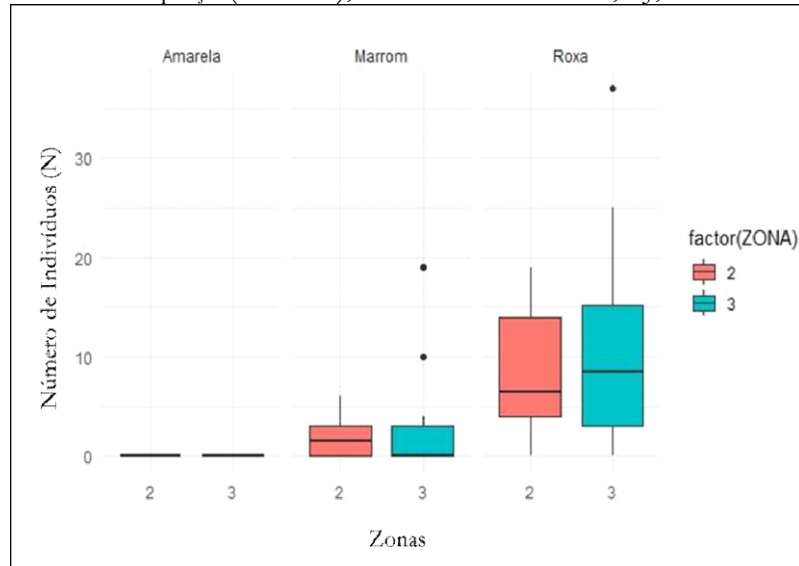
Figura 2 – A: Abundância de *Asplenium serratum*. Nos trechos estudados das Trilhas Amarela, Marrom (em verde) e Roxa (azul) - REGUA. As letras (a, b, c) indicam diferenças entre os grupos ($p < 0,05$). **B:** Ocupação de *A. serratum* na zona III dos forófitos nos trechos estudados das trilhas Amarela (vermelha), Marrom (verde) e Roxa (azul).



Fonte: Lima, 2025.

Quanto à abundância de indivíduos, os valores não diferiram estatisticamente entre as zonas II e III, entre as Trilhas Marrom ($p = 0,9$) e Roxa ($p = 0,56$) (Figura 3).

Figura 3 – Boxplot da abundância de *Asplenium serratum* L. nas zonas II (Z2) e III (Z3) dos forófitos nos trechos estudados das trilhas Amarela (em vermelho), Marrom (verde) e Roxa (azul) da Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), Cachoeiras de Macacu, RJ, Brasil.



Fonte: Lima, 2025.

A maior abundância de *A. Serratum* foi encontrada na Trilha Roxa, corroborando a hipótese do estudo. Embora a espécie seja citada como mais tolerante a ambientes menos úmidos e sombreados dentre outras espécies do grupo das pteridófitas (Rodrigues *et al.*, 2004), não houve ocorrência na Trilha Amarela. Isso pode estar associado às condições estruturais da floresta, considerando seu estágio de regeneração menos avançado e o fato de a trilha apresentar árvores jovens, com copas pequenas e pouco densas, resultando em dossel aberto, alta insolação e baixa umidade. Além disso, é consideravelmente uma mata “nova”, com pouco tempo para colonização por outras espécies. No que tange ao grupo de Pteridófitas, comumente as que ocorrem são *Microgramma vacciniifolia* (Langsd. & Fisch.) Copel. e *Pleopeltis pleopeltifolia* (Raddi) Alston, plantas poiquilohídricas e generalistas (Dubuisson *et al.*, 2009; Murakami, 2019).

O aumento na abundância de *A. serratum*, da Trilha Marrom até a Roxa, sendo a última a que apresentou maior ocorrência da espécie, reforça resultados de outros estudos em florestas tropicais, demonstrando que umidade e sombreamento são importantes condições para o desenvolvimento e estabelecimento das samambaias e licófitas (Zuquim *et al.*, 2007), inclusive as de hábito epifítico (Xavier & Barros, 2005). A estrutura da vegetação e os fatores ambientais influenciam os padrões de distribuição da comunidade (Padilha *et al.*, 2017; Varela, 2021), e formações florestais jovens certamente são mais homogêneas e não dispõem nichos necessários ao estabelecimento natural das mesmas (Murakami, 2019). Assim, quanto mais diversificada a vegetação, maior a complexidade estrutural da floresta, a quantidade de estratos e, conseqüentemente, os nichos e micro-habitats (Alvarenga *et al.*, 2010).

Por fim, as árvores remanescentes presentes nas trilhas, também podem ter influenciado no padrão de distribuição no gradiente vertical, ao mostrarem maior heterogeneidade estrutural, conforme apresentado em outros trabalhos (Woods *et al.*, 2019). Essa relação entre a complexidade do forófito e epífitas já foi discutida por Dias (2009), que destacou a importância de características como volume da copa, diâmetro do tronco e rugosidade da casca na capacidade de suporte a comunidades epifíticas. Além da arquitetura das mesmas serem favoráveis para o estabelecimento de epífitas, devido à horizontalidade dos galhos, favorecendo o acúmulo de água, húmus e melhor fixação de propágulos, (Waechter, 1992; Kersten, 2006; Krömer *et al.*, 2007; Kersten; Kuniyochi, 2009), com as características morfométricas das árvores, também indica relação com a composição de espécies presentes (Cruz, 2017).

Desse modo, o encontrado neste estudo refuta a hipótese em relação a distribuição vertical do trabalho, a qual afirmava que a zona do fuste (II) teria maior abundância. Todavia, ainda que com abundância menor, a zona II destacou-se na frequência de ocupação, demonstrando portanto, diferença significativa estatisticamente entre as trilhas (maior ocorrência), o que pode estar relacionado com o histórico de uso e ocupação da REGUA, com ciclos exploratórios de supressão da vegetação original (Correa, 2018), assim como encontrados em outros trabalhos em áreas com histórico de intervenções antrópicas, os quais registraram que a zona II se destacou (porém na riqueza de espécies), devido às florestas secundárias apresentarem diferença no gradiente vertical de luz em consequência de perturbações humanas impactarem a estrutura florestal influenciando assim, na dispersão de luz (Fauset *et al.*, 2017).

4 CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou padrões distintos de ocorrência e distribuição da samambaia epifítica *A. serratum* entre diferentes trilhas da REGUA. A ausência total da espécie na Trilha Amarela e sua maior abundância na Trilha Roxa, corroboram com a hipótese inicial de que fatores estruturais e ambientais da vegetação, associados à idade de restauração, influenciam a presença e abundância da espécie *A. serratum*.

Em relação à distribuição vertical, a maior abundância registrada na zona III (dossel inferior e ramificações principais) refutou a hipótese do estudo de que a zona II (fuste) apresentaria maior número de indivíduos, seguindo o encontrado na maioria dos estudos de epífitas vasculares, reforçando que esta zona é favorável para o estabelecimento de epífitas. No entanto, a zona II apresentou uma frequência significativa de ocupação entre as trilhas, o que pode estar relacionado a perturbações antrópicas prévias e ao histórico de uso da área, que alteraram a estrutura da vegetação e consequentemente, o gradiente de luz.

De forma geral, os resultados apontam a influência da heterogeneidade ambiental, associada à restauração e a regeneração possibilitada pela mesma, no estabelecimento e na abundância de *A. serratum*. Por fim, é importante aprofundar o entendimento sobre a influência da restauração na regeneração natural da espécie de interesse. Ademais, o trabalho reforça a relevância da compreensão de como ocorre a regeneração do grupo epifítico em áreas em restauração.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. D. **Composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.
- BARROS, I. C. L. *et al.* Distribuição vertical de samambaias epífitas em um fragmento de Floresta Atlântica no Nordeste do Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 69, n. 1, p. 143–153, 2014.
- BATAGHIN, F. A. *et al.* Riqueza e estratificação vertical de epífitas vasculares na Estação Ecológica de Jataí – área de Cerrado no Sudeste do Brasil. **Hoehnea**, v. 39, n. 4, p. 615–626, 2012.
- BATAGHIN, F. A.; *et al.* Epífitas vasculares da Estação Ecológica Barreiro Rico, Anhembi, SP, Brasil: diversidade, abundância e estratificação vertical. **Hoehnea**, v. 44, n. 2, p. 172–183, 2017.
- BELLOTO, A. *et al.* Fase 6: inserção de outras formas de vida no processo de restauração. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: LERF/ESALQ; Instituto BioAtlântica, 2009. p. 55–61.
- BENZING, D. H. Vascular epiphytism: taxonomic participation and adaptive diversity. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 74, p. 183–204, 1987.
- CHAZDON, R. L. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195–218, 2012.
- CRUZ, A. C. R. **Epífitas vasculares da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.
- CRUZ, A. C. R. D. **Epífitas vasculares da Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ.** 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.
- DIAS, A. D. S. **Ecologia de epífitas vasculares em uma área de Mata Atlântica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Teresópolis, RJ.** 2009.
- DETTKE, G. A.; ORFRINI, A. C.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. Composição florística e distribuição de epífitas vasculares em um remanescente alterado de Floresta Estacional Semidecidual no Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, v. 59, n. 4, p. 859–872, 2008.

FAUSET, S. *et al.* Tropical forest light regimes in a human-modified landscape. **Ecosphere**, v. 8, n. 11, 2017.

FRANCISCO, T.; GARBIN, M.; CASTANHO, C.; RUIZ-MIRANDA, C. An overview on epiphytism as a direct mechanism of facilitation in tropical forests. **Tropical Ecology**, v. 59, 2018.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. M. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 559–566, 2002.

KERSTEN, R. A.; SILVA, S. M. The floristic composition of vascular epiphytes of a seasonally inundated forest on the coastal plain of Ilha do Mel Island, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 54, n. 3, p. 935–942, 2006.

KERSTEN, R. A.; KUNIYOSHI, Y. S. Conservação das florestas na bacia do Alto Iguaçu, Paraná – avaliação da comunidade de epífitas vasculares em diferentes estágios seriais. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 51–66, 2009.

MOREIRA, T.; FONTELLES, L.; MEIRELES, T. **Restauração ecológica no Brasil: desafios e oportunidades**. Brasília, DF: WWF-Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?60742/Restaurao-ecologica-no-Brasildesafios-e-oportunidades>. Acesso em: 21 maio 2024.

MURAKAMI, M. M. S. **Epífitas vasculares nas trilhas da Reserva Ecológica de Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ**: estrutura da comunidade e guia de campo. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

NADKARNI, N. M. Epiphyte biomass and nutrient capital of a neotropical elfin forest. **Biotropica**, v. 16, p. 249–256, 1984. DOI: 10.2307/2387932.

NADKARNI, N. M.; MATELSON, T. J. Biomass and nutrient dynamics of epiphytic litterfall in a neotropical montane forest, Costa Rica. **Biotropica**, v. 24, n. 1, p. 24–30, 1992.

NADKARNI, N. M.; SCHAEFER, D.; MATELSON, T. J.; SOLANO, R. Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary montane cloud forest, Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 198, n. 1–3, p. 223–236, 2004.

NERY, E. R. A. *et al.* O conceito de restauração na literatura científica e na legislação brasileira. **Revista Caititu**, v. 1, p. 43–56, 2013. DOI: 10.7724/caititu.2013.v1.n1.d04.

PACIENCIA, M. L. B.; PRADO, J. Distribuição espacial da assembleia de pteridófitas em uma paisagem fragmentada de Mata Atlântica no sul da Bahia, Brasil. **Hoehnea**, v. 32, n. 1, p. 103–117, 2005.

PADILHA, P. T.; ELIAS, G. A.; SANTOS, R.; MARTINS, R.; CITADINI-ZANETTE, V. Vascular epiphytes respond to successional stages and microhabitat variations in a subtropical forest in southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 4, p. 897–905, 2017.

RODRIGUES, S. T.; ALMEIDA, S. S. D.; ANDRADE, L. D. H. C.; BARROS, I. C. L.; VAN DEN BERG, M. E. Composição florística e abundância de pteridófitas em três ambientes da bacia do rio Guamá, Belém, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 34, p. 35–42, 2004.

TRES, D. R. *et al.* Poleiros artificiais e transposição de solo para a restauração nucleadora em áreas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 312–314, 2007.

SYLVESTRE, L. S. Aspleniaceae. *In: Lista de espécies da Flora do Brasil*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB9067>. Acesso em: 30 ago. 2025.

SYLVESTRE, L. D. S.; REIS, A.; WINDISCH, P. G. Aspleniaceae (Polypodiopsida) in the state of Mato Grosso, Brazil. **Rodriguésia**, v. 74, e00712023, 2023.

TRIANA-MORENO, L. A.; GARZÓN-VENEGAS, N. J.; SÁNCHEZ-ZAMBRANO, J.; VARGAS, O. Epífitas vasculares como indicadores de regeneración en bosques intervenidos de la Amazonía Colombiana. **Acta Biológica Colombiana**, v. 8, p. 31–42, 2003.

WAECHTER, J. L. **O epifitismo vascular na planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1992. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1992.

XAVIER, S. R. S.; BARROS, I. C. L. Pteridoflora e seus aspectos ecológicos ocorrentes no Parque Ecológico João Vasconcelos Sobrinho, Caruaru, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 775–781, 2005.

ZOTZ, G. **Plants on plants – the biology of vascular epiphytes**. Germany: Springer, 2016.
ZUQUIM, G.; COSTA, F. R. C.; PRADO, J. Fatores que determinam a distribuição de espécies de pteridófitas da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. esp., p. 360–362, 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115114>. Acesso em: 30 ago. 2025.




CAPÍTULO 3

INTERAÇÕES NATURAIS SOLO-PLANTA: CONTRIBUIÇÕES DA MICROBIOTA NATIVA NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E NO CRESCIMENTO VEGETAL

NATURAL SOIL-PLANT INTERACTIONS: CONTRIBUTIONS OF NATIVE MICROBIOTA TO BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND PLANT GROWTH

Ronald Talyson Peixoto Ferreira   

Graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Alida Maisa Dantas Resende   

Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Vitória Ramos Cruz da Silva   

Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Wanderson Siqueira da Silva   

Graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Maria Beatriz Nunes dos Santos   

Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Iara Monique Martins de Andrade   


Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Letícia da Luz Nascimento   

Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina-PE, Brasil

Kedma Raissa Gomes dos Santos   

Doutoranda em Recursos Genéticos Vegetais pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana-BA, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1153 

Resumo: O estudo investiga a simbiose entre o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN), analisando seu efeito no crescimento e na nodulação radicular. A pesquisa foi conduzida na Embrapa Semiárido localizada em Petrolina – PE, com dois tratamentos: plantas com adubação nitrogenada e plantas sem nitrogênio suplementar. Após 20 dias de cultivo, mediram-se altura, biomassa e número de nódulos. As plantas com nitrogênio apresentaram maior crescimento, com média de 50,3 cm, mas não formaram nódulos, já as sem adubação atingiram altura média de 34,6 cm e desenvolveram 6,6 nódulos por planta. Esses resultados evidenciam que a disponibilidade de nitrogênio inibe a simbiose, enquanto sua ausência estimula a fixação biológica. Conclui-se que a FBN é uma alternativa ecológica e sustentável à fertilização química, capaz de manter o crescimento vegetal e contribuir para a ciclagem de nutrientes, especialmente em solos pobres do semiárido. O estudo reforça a importância das interações mutualísticas solo-planta como estratégias adaptativas em ecossistemas agrícolas e destaca o papel ecológico do feijão-caupi como espécie-chave para sistemas sustentáveis.

Palavras-chave: Simbiose. Agroecossistemas. Sustentabilidade. Micro-organismos do solo. Adubação biológica.

Abstract: The study investigates the symbiosis between cowpea (*Vigna unguiculata*) and nitrogen-fixing bacteria (NFB), analyzing their effect on growth and root nodulation. The research was conducted at Embrapa Semiárido, located in Petrolina, Pernambuco, with two treatments: plants with nitrogen fertilization and plants without supplemental nitrogen. After 20 days of cultivation, height, biomass, and number of nodules were measured. The plants with nitrogen showed greater growth, with an average of 50.3 cm, but did not form nodules, while those without fertilization reached an average height of 34.6 cm and developed 6.6 nodules per plant. These results show that the availability of nitrogen inhibits symbiosis, while its absence stimulates biological fixation. It can be concluded that FBN is an ecological and sustainable alternative to chemical fertilization, capable of maintaining plant growth and contributing to nutrient cycling, especially in poor soils in the semiarid region. The study reinforces the importance of mutualistic soil-plant interactions as adaptive strategies in agricultural ecosystems and highlights the ecological role of cowpea as a key species for sustainable systems.

Keywords: Symbiosis. Agroecosystems. Sustainability. Soil microorganisms. Biological fertilization.

1 INTRODUÇÃO

A Ecologia de Populações e de Comunidades investiga os fatores que regulam a distribuição, a abundância e as interações entre organismos, incluindo a forma como relações bióticas e abióticas afetam o crescimento e a dinâmica das espécies (Carvalho *et al.*, 2019; Ricklefs, 2010). Entre essas interações, destaca-se a simbiose entre leguminosas e bactérias diazotróficas, que resulta na formação de nódulos radiculares e permite a fixação biológica de nitrogênio (FBN), suprimindo as necessidades nutricionais da planta sem o uso de fertilizantes sintéticos (Sousa *et al.*, 2022).

A FBN é especialmente relevante em ambientes de baixa fertilidade natural, como os do semiárido brasileiro, onde o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) representa uma importante cultura alimentar e econômica (Souza; Martins; Pedrosa, 2021). No entanto, estudos demonstram que a

aplicação de nitrogênio mineral pode inibir a nodulação, uma vez que a planta passa a absorver o nutriente diretamente do solo, reduzindo o investimento na simbiose (Abd-Alla *et al.*, 2023; Singh *et al.*, 2024).

No entanto, a dependência de defensivos e fertilizantes químicos tem se intensificado principalmente para atender as demandas de produção (FAO, 2020). Contudo, sua eficiência nem sempre corresponde às expectativas, gerando preocupações ambientais e econômicas (Embrapa, 2020). Nesse sentido, os avanços tecnológicos impulsionam o uso de produtos biológicos como alternativa sustentável para manter a produtividade das plantas (Rouphael; Colla, 2020).

Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar o efeito da simbiose entre planta e bactérias FBN na formação de nódulos em plantas da cultivar de feijão-caupi Acauã BRS, em condições de cultivo. E especificamente verificar a presença e quantidade de nódulos nas raízes das plantas submetidas ou não à suplementação com nitrogênio e determinar a biomassa da parte aérea e das raízes após 20 dias de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As análises laboratoriais foram realizadas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Semiárido, localizada na BR 428, Km 152, zona rural de Petrolina – PE (Latitude de 09° 09'S, longitude 40° 22'W e altitude 365,5 m). As análises de nitrogênio foram realizadas no laboratório de nutrição animal - LANA.

2.1 Metodologia da pesquisa

O experimento foi realizado utilizando a cultivar de feijão-caupi Acauã BRS. Foram utilizados seis vasos plásticos de 15L, todos preenchidos com o mesmo tipo de substrato, previamente peneirado e umedecido, para garantir condições homogêneas de plantio (Figura 1). Foi realizada a desinfestação das sementes, com solução de hipoclorito de sódio (cloro) a 10%, onde a semente ficou submersa por 5 minutos, seguida de dez lavagens com água destilada (Figura 2). Teve como objetivo eliminar microrganismos contaminantes presentes na superfície das sementes, como fungos, bactérias e esporos. Esse procedimento foi essencial para garantir a confiabilidade dos resultados, uma vez que o experimento buscava avaliar a formação de nódulos e os efeitos da adubação nitrogenada. A presença de contaminantes poderia interferir no processo de simbiose natural entre a planta e as bactérias fixadoras de nitrogênio, comprometendo a interpretação dos dados.

Figura 1 – Montagem do experimento.

Fonte: Autores, 2025.

Figura 2 – Desinfestação das sementes.

Fonte: Autores, 2025.

Os vasos foram divididos em dois grupos de tratamento: Tratamento 1: Controle (sem adição de nitrogênio): três vasos contendo apenas o feijão-caupi Acauã BRS, irrigados com água. Tratamento 2: Nitrogenado: três vasos com feijão-caupi Acauã BRS, irrigados com água e, a cada 15 dias, receberam suplementação com nitrogênio.

Cada vaso recebeu a mesma quantidade de sementes, sendo cinco sementes para cada vaso, e foi mantido sob as mesmas condições de luz, temperatura e irrigação, com exceção da adição do nitrogênio no tratamento 2 (Figura 3). Após a queda dos cotilédones (15 dias após a semeadura) foi realizado o desbaste das plantas nos vasos de ambos os tratamentos. A realização dos desbastes serve para não haver competição por nutrientes entre as plantas, visto que foram colocadas para germinar cinco sementes por vaso. Foi feito o desbaste em quatro das cinco plantas, deixando apenas uma por vaso.

Figura 3 – Semeadura.

Fonte: Autores, 2025.

Após 20 dias, foi realizada a desmontagem do experimento e guardados na estufa, para no dia seguinte fazer a avaliação das seguintes análises: medição da parte aérea, peso fresco da parte aérea e radicular e contagem do número de nódulos (Figura 4 e 5).

Figura 4 - Desmontagem do experimento.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 5 - Armazenamento das amostras vegetais.



Fonte: Autores, 2025.

2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada 20 dias após o plantio da cultivar de feijão-caupi Acauã BRS, cultivada em vasos com capacidade de 15 litros, mantidos em ambiente natural. Após o período experimental, todas as plantas foram cuidadosamente retiradas dos vasos para posterior análise morfológica e simbiótica, conforme descrito nos subtópicos a seguir.

2.2.1 *Medição do comprimento da parte aérea*

Após a remoção das plantas, realizou-se a medição da parte aérea, compreendida pelo caule e pelas folhas. Essa etapa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vertical das plantas sob os dois tratamentos. Para a medição, utilizou-se régua milimetrada, tomando-se como referência a base do caule até o ápice da planta. Os dados obtidos foram registrados em centímetros (cm) e utilizados como parâmetro de crescimento comparativo entre os grupos com e sem adição de nitrogênio.

2.2.2 *Determinação do peso fresco da parte aérea e do sistema radicular*

Em seguida, as plantas foram segmentadas em duas frações principais: parte aérea (caule e folhas) e sistema radicular (raízes). Ambas as frações foram pesadas separadamente para a

determinação da biomassa fresca, utilizando balança de precisão. As massas foram expressas em gramas (g) e registradas individualmente para cada repetição experimental.

O objetivo dessa análise foi quantificar a alocação de biomassa em diferentes partes da planta sob diferentes condições de disponibilidade de nitrogênio, possibilitando a inferência sobre padrões fisiológicos de crescimento e estratégias adaptativas relacionadas à absorção e uso de nutrientes.

2.2.3 Avaliação do número de nódulos

A avaliação da nodulação foi conduzida após a lavagem completa do sistema radicular com água corrente, etapa necessária para a remoção de solo aderido e exposição dos nódulos formados. Em cada planta, os nódulos foram contados manualmente, e em seguida cuidadosamente removidos das raízes e contados. Esses dados permitiram estimar a intensidade da simbiose entre as plantas e as bactérias fixadoras de nitrogênio presentes no solo.

É importante destacar que a nodulação ocorreu apenas nas plantas do tratamento sem adição de nitrogênio, evidenciando a ativação do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) em resposta à baixa disponibilidade do nutriente, caracterizando uma interação ecológica do tipo mutualística.

2.3 Análise dos resultados

Os dados coletados durante o experimento foram organizados em planilhas eletrônicas (Google Planilhas), o que permitiu uma sistematização eficiente das informações. As análises envolveram a medição da parte aérea das plantas, o peso seco da parte aérea e do sistema radicular, além da contagem do número de nódulos presentes nas raízes. Com base nesses parâmetros, foram calculadas as médias para cada tratamento, possibilitando a comparação entre os grupos com e sem adição de nitrogênio. Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados, foram elaborados gráficos que ilustram as diferenças observadas entre os tratamentos em cada uma das variáveis analisadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou os efeitos da adição de nitrogênio mineral no crescimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e na formação de nódulos radiculares. Foram comparados dois grupos: um com suplementação de nitrogênio e outro dependente da fixação biológica de nitrogênio (FBN). As plantas adubadas apresentaram maior crescimento da parte aérea, porém não formaram nódulos. Já as plantas sem adição do nutriente desenvolveram nodulação ativa e biomassa compatível com o grupo adubado, evidenciando a eficácia da simbiose com bactérias

diazotróficas. Os resultados reforçam o papel ecológico da FBN como alternativa sustentável à fertilização química, especialmente em solos de baixa fertilidade.

3.1 Medição da parte aérea

As plantas adubadas com nitrogênio apresentaram maior desenvolvimento em altura, com média de 50,3 cm, enquanto as plantas não adubadas alcançaram média de 34,6 cm (Tabela 1).

Tabela 1 – Comprimento médio da parte aérea das plantas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

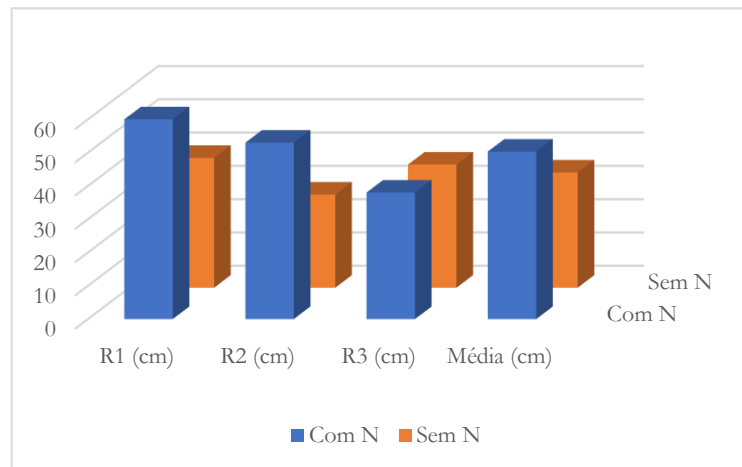
Tratamento	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Média (cm)
Com N	60	53	38	50,3
Sem N	39	28	37	34,6

Fonte: Autores, 2025.

Esses resultados estão em conformidade com os achados de Sousa *et al.* (2022), que demonstram que o fornecimento de nitrogênio mineral aumenta o crescimento inicial das leguminosas, mas reduz a formação simbiótica com rizóbios. Apesar do crescimento inferior, as plantas sem adubação mostraram desempenho expressivo, sustentado pela associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, confirmando a eficiência ecológica da FBN na manutenção da produtividade em solos pobres.

Sob a ótica ecológica, esse comportamento reflete a plasticidade adaptativa das leguminosas, capazes de ajustar seu metabolismo conforme a disponibilidade de recursos no ambiente (Carvalho *et al.*, 2019). Assim, mesmo sem o aporte de fertilizante, o grupo sem N manteve crescimento satisfatório, evidenciando o potencial de uso da simbiose como estratégia para reduzir a dependência de insumos químicos.

Conforme o Gráfico 1 a seguir, observa-se de forma visual a diferença média de crescimento entre os tratamentos, destacando o aumento da parte aérea nas plantas adubadas.

Gráfico 1 – Comprimento médio da parte aérea das plantas sob diferentes tratamentos.

Fonte: Autores, 2025.

3.2 Peso da biomassa da parte aérea e radicular

A biomassa fresca da parte aérea e das raízes também apresentou variações entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Biomassa fresca da parte aérea e radicular (g) das plantas de feijão-caupi.

Tratamento	Parte aérea				Raiz			
	R1	R2	R3	Média	R1	R2	R3	Média
Com N	8,98	6,64	4,93	6,85	0,65	0,47	0,46	0,69
Sem N	7,17	1,94	6,05	5,05	0,65	0,47	0,46	0,53

Fonte: Autores, 2025.

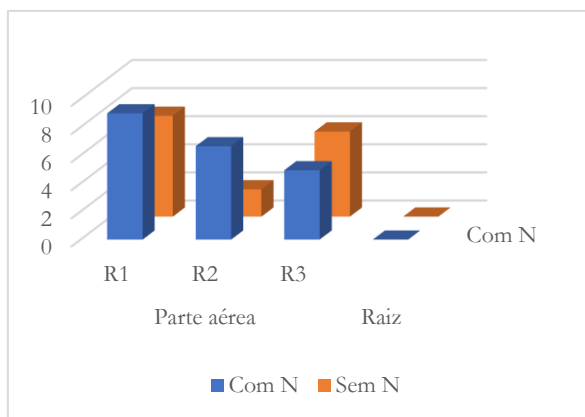
As plantas adubadas acumularam maior biomassa aérea, resultado compatível com a função fisiológica do nitrogênio como elemento-chave para a síntese de proteínas e clorofila (Singh *et al.*, 2024). No entanto, as plantas sem nitrogênio apresentaram valores próximos, demonstrando que a simbiose rizóbio-leguminosa compensa parcialmente a ausência do nutriente, como também observado por Abd-Alla *et al.* (2023).

Do ponto de vista da ecologia de comunidades, tal desempenho indica que a FBN promove estabilidade trófica e sustentabilidade nos agroecossistemas, reduzindo a necessidade de adubos químicos e fortalecendo a microbiota rizosférica (Ricklefs, 2010). Além disso, a biomassa radicular semelhante entre os grupos demonstra que o desenvolvimento das raízes se manteve equilibrado,

possivelmente pela atuação simbiótica das bactérias que aumentam a absorção de nutrientes, conforme também relatado por Xavier *et al.* (2008) em seus estudos.

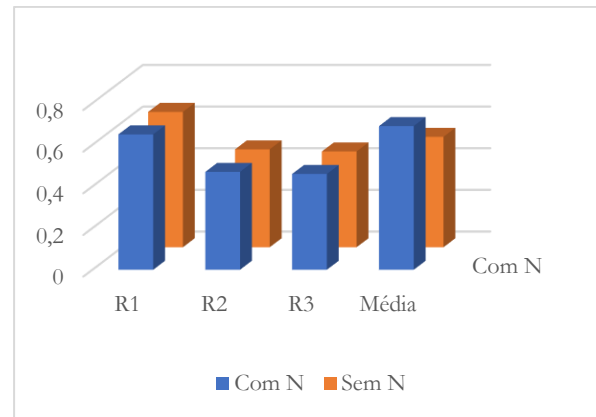
Conforme os Gráficos 2 e 3 a seguir, é possível visualizar o comportamento da biomassa aérea e radicular nos diferentes tratamentos, evidenciando o papel ecológico da FBN na manutenção do crescimento vegetal.

Gráfico 2 – Biomassa fresca da parte aérea (g).



Fonte: Autores, 2025.

Gráfico 3 – Biomassa fresca radicular (g).



Fonte: Autores, 2025.

Tais resultados reforçam que a FBN não apenas sustenta o crescimento vegetal, mas contribui para a resiliência ecológica dos sistemas agrícolas, promovendo interações mutualísticas que ampliam a eficiência do uso de recursos naturais.

3.3 Número de nódulos

A formação de nódulos foi observada exclusivamente nas plantas sem adubação nitrogenada, totalizando 20 nódulos e média de 6,6 nódulos por planta (Tabela 3). Nenhuma nodulação foi registrada no grupo com adição de nitrogênio.

Tabela 3 – Número médio de nódulos por planta de feijão-caupi.

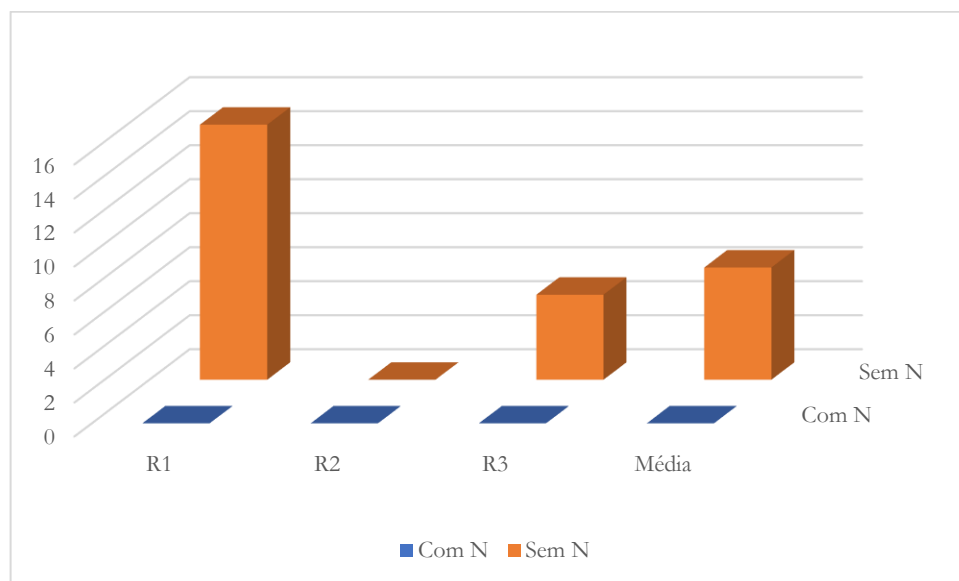
Tratamento	R1	R2	R3	Média
Com N	0	0	0	0
Sem N	15	0	5	6,6

Fonte: Autores, 2025.

A ausência de nódulos no tratamento com N confirma o princípio fisiológico de que o excesso de nitrogênio inibe a simbiose rizóbica, uma vez que o custo energético para a planta deixa de ser vantajoso (Souza; Martins; Pedrosa, 2021). Segundo El-Alam *et al.* (2020) e Maestro-Gaitán *et al.* (2022), essa regulação ecológica demonstra como as leguminosas priorizam o uso eficiente de recursos, estabelecendo simbiose apenas em condições de limitação nutricional.

Conforme o Gráfico 4 a seguir, observa-se a diferença significativa no número de nódulos entre os tratamentos, evidenciando o papel essencial da microbiota nativa na fixação biológica de nitrogênio.

Gráfico 4 – Número de nódulos por planta nos diferentes tratamentos.



Fonte: Autores, 2025.

Ecologicamente, a presença de nódulos no tratamento sem nitrogênio indica a atividade de bactérias diazotróficas nativas, evidenciando o papel da microbiota do solo como agente de fertilidade natural (Carvalho *et al.*, 2019). A FBN, portanto, não é apenas uma estratégia fisiológica, mas um processo ecológico essencial para a manutenção da diversidade funcional e da estabilidade dos agroecossistemas (FAO, 2020; Embrapa, 2021).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste experimento evidenciam, sob uma perspectiva ecológica, a relevância da fixação biológica de nitrogênio (FBN) como um mecanismo natural e funcional no suprimento nutricional do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio mineral. Embora as plantas cultivadas sem adubação tenham apresentado crescimento vegetativo ligeiramente inferior ao grupo adubado, seu desempenho em altura e biomassa foi notável, sustentado exclusivamente pela interação simbiótica com bactérias diazotróficas presentes

no solo. Isso demonstra a eficácia ecológica da FBN como alternativa adaptativa em ambientes empobrecidos em nutrientes, especialmente em ecossistemas como o semiárido.

A ausência total de nódulos nas plantas que receberam nitrogênio exógeno reforça um princípio central da ecologia de comunidades: a disponibilidade excessiva de recursos pode inibir interações mutualísticas essenciais, como a simbiose entre raízes e bactérias fixadoras. Essa supressão simbiótica compromete a diversidade funcional do microbioma do solo, alterando as relações tróficas e o equilíbrio entre os componentes da comunidade edáfica. Em contrapartida, a nodulação observada nas plantas sem adubação confirma o papel ativo da FBN na ciclagem biogeoquímica do nitrogênio, contribuindo para a estabilidade e o funcionamento dos agroecossistemas em contextos de baixa interferência antrópica.

Sob a ótica da ecologia de populações, os dados indicam que indivíduos geneticamente semelhantes podem apresentar respostas fenotípicas distintas diante de variações ambientais, como demonstrado pela heterogeneidade no número de nódulos e na alocação de biomassa entre as repetições. Essa diversidade intraespecífica é crucial para a resiliência populacional, pois amplia as chances de sobrevivência e adaptação frente a condições variáveis. Já no âmbito da ecologia de comunidades, o experimento reforça a importância das interações bióticas positivas, em especial, o mutualismo planta-microrganismo, como elementos estruturantes da dinâmica vegetal, influenciando diretamente a produtividade, a conservação do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Dessa forma, este estudo contribui para o entendimento de que a FBN não deve ser vista apenas como uma alternativa agronômica, mas como um processo ecológico estratégico, com implicações diretas na conservação da biodiversidade funcional do solo e na redução da dependência de insumos químicos. O cultivo de leguminosas como o feijão-caupi, aliado a práticas que estimulem a atividade microbiana nativa, configura-se como uma abordagem coerente com os princípios da agroecologia, promovendo sistemas de produção mais integrados, resilientes e ecologicamente equilibrados, especialmente em regiões com restrições edafoclimáticas, como o semiárido brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABD-ALLA, M. H.; ALMRI, S. M.; EL-ENANY, A. E. Enhancing Rhizobium–Legume Symbiosis and Reducing Nitrogen Fertilizer Use Are Potential Options for Mitigating Climate Change. **Agriculture**, v. 13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112092>.

ALCÂNTARA, R. M. *et al.* Parâmetros morfofisiológicos e produtivos da cultura do milho inoculado com bactérias promotoras de crescimento vegetal em Teresina-PI. Embrapa Centro-Norte: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 131, 2021.

CARVALHO, L. R. *et al.* Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 278, p. 96–106, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.016>.

EL-ALAM, I. *et al.* Antifungal and Phytotoxic Activities of Essential Oils: In Vitro Assays and Their Potential Use in Crop Protection. **Agronomy**, v. 10, n. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060825>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION of the United Nations (FAO). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2020. Roma: **FAO**, 2020. 366 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe3b44ad-553a-4d2f-b8d9-d0ef1dc509ed/content>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MAESTRO-GAITÁN, I. *et al.* Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in *Chenopodium quinoa* Willd. **Environmental and Experimental Botany**, v. 201, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104976>.

RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. 6. ed. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, 2010.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. **Agronomy**, v. 10, n. 10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>.

SINGH, R. *et al.* Nitrogen fertilization in snap bean following a legume in sandy soils of North Florida. **HortTechnology**, v. 34, n. 5, p. 521–532, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05442-24>.

SOUSA, W. S. *et al.* Effects of Rhizobium inoculum compared with mineral nitrogen fertilizer on nodulation and seed yield of common bean: a meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 52, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00784-6>.

SOUZA, J. da. S.; MARTINS, A. F.; PEDROSA, L. M. Importância de bactérias fixadoras de nitrogênio no cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). **Scientific Electronic Archives**, n. 14, v. 9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36560/14920211456>.

XAVIER, T. F. *et al.* Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1945–1951, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000700038>.




CAPÍTULO 4

PANORAMA CIENTÍFICO DO ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS BRASILEIRAS: 30 ANOS DE EVOLUÇÃO

SCIENTIFIC PANORAMA OF SEED STORAGE IN BRAZILIAN FOREST SPECIES: 30 YEARS OF EVOLUTION

Ludmilla Morais Pereira   

Doutoranda em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

Isabel Cristina Caetano Gama   

Doutoranda em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

Marcos Antônio Negreiros Dias   

Doutorando em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Gurupi-TO, Brasil

Ganito Aubi Ataba   




Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

Isabelle da Silva Wolff   




Mestranda em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

José Cícero Pereira Júnior   


Doutorando em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

Luciana Magda de Oliveira   

Doutora em Fitotecnia-Sementes pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Docente do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages-SC, Brasil

Renisson Neponuceno de Araújo Filho   

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Docente do Campus de Dois Irmãos, Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1154 

Resumo: A conservação de sementes florestais é essencial para a manutenção da diversidade genética e para o avanço de programas de restauração ecológica no Brasil. Este estudo teve como objetivo analisar a evolução da produção científica sobre armazenamento, conservação, viabilidade e longevidade de sementes de espécies florestais brasileiras nas últimas três décadas. Para isso, realizou-se uma busca estruturada na *Web of Science – Core Collection* utilizando descritores relacionados a “seed storage”, “seed conservation”, “seed longevity” e “seed viability”, resultando em 163 artigos publicados entre 1996 e 2025. Os registros foram exportados, padronizados e analisados por meio de métricas bibliométricas clássicas, aplicação da Lei de Bradford e Análise de Componentes Principais (PCA) baseada em matriz termo-documento. Os resultados mostraram crescimento significativo da área, com aumento médio anual de 0,45 artigos ($\beta = 0,454$; $p < 0,001$) e forte explicação temporal ($R^2 = 0,746$). A produção atingiu seus picos em 2019 e 2021 (13 artigos cada) e 2025 (15 artigos), mostrando consolidação recente do tema. O núcleo Bradford foi composto por nove periódicos que concentraram 53 publicações (32,5%), destacando *Journal of Seed Science* (10 artigos) e *Seed Science and Technology* (8 artigos). A PCA explicou 20,3% da variância nos dois primeiros eixos e revelou três agrupamentos temáticos principais: (i) estudos de armazenamento e longevidade; (ii) pesquisas ecológicas sobre dormência e regeneração; e (iii) trabalhos sobre tolerância à dessecação e sementes recalcitrantes. Conclui-se que a área apresenta um crescente amadurecimento metodológico e integração entre fisiologia, ecologia e conservação *ex situ* no contexto florestal brasileiro.

Palavras-chave: Análise bibliométrica. Análise multivariada. Conservação. Tecnologia de sementes.

Abstract: The conservation of forest seeds is essential for maintaining genetic diversity and advancing ecological restoration programs in Brazil. This study aimed to analyze the evolution of scientific production on seed storage, conservation, viability, and longevity of Brazilian forest species over the last three decades. A structured search was conducted in the Web of Science – Core Collection using descriptors related to “seed storage,” “seed conservation,” “seed longevity,” and “seed viability,” resulting in 163 articles published between 1996 and 2025. The records were exported, standardized, and analyzed using classical bibliometric metrics, Bradford’s Law, and Principal Component Analysis (PCA) based on a term–document matrix. The results showed significant growth in the field, with an average annual increase of 0.45 articles ($\beta = 0.454$; $p < 0.001$) and strong temporal explanation ($R^2 = 0.746$). Scientific output reached its peaks in 2019 and 2021 (13 articles each) and in 2025 (15 articles), indicating recent consolidation of the topic. The Bradford core consisted of nine journals that concentrated 53 publications (32.5%), with prominence for *Journal of Seed Science* (10 articles) and *Seed Science and Technology* (8 articles). The PCA explained 20.3% of the variance across the first two axes and revealed three main thematic clusters: (i) studies on seed storage and longevity; (ii) ecological research addressing dormancy and regeneration; and (iii) investigations on desiccation tolerance and recalcitrant seeds. We conclude that the field demonstrates increasing methodological maturity and stronger integration among physiology, ecology, and *ex situ* conservation in the Brazilian forest context.

Keywords: Bibliometric analysis. Conservation. Multivariate analysis. Seed technology.

1 INTRODUÇÃO

A conservação de sementes florestais tem recebido crescente atenção devido à necessidade de preservar a diversidade genética, sustentar programas de restauração ecológica e garantir a disponibilidade de material reprodutivo de alta qualidade para projetos de reflorestamento. Revisões recentes destacam que mais de 20% das espécies vegetais do planeta estão ameaçadas de extinção,

o que reforça a urgência de aprimorar estratégias de conservação *ex situ*, incluindo o armazenamento de sementes (Cai; Shao; Shen, 2025). Apesar disso, menos de 10% das espécies presentes em bancos de germoplasma pertencem a táxons globalmente ameaçados, o que mostra uma lacuna crítica entre o potencial e a prática de conservação via armazenamento de sementes. No Brasil, esse desafio é ainda mais complexo em função da elevada diversidade de espécies florestais nativas e de suas distintas respostas ao dessecamento, temperatura de armazenamento e envelhecimento (Cai; Shao; Shen, 2025).

O processo de envelhecimento das sementes é inevitável e decorre do acúmulo progressivo de danos oxidativos, inicialmente desencadeados nos sistemas mitocondriais e peroxissomais, que levam à perda gradual da viabilidade e redução da capacidade germinativa (Kijowska-Oberc; Staszak; Ratajczak, 2021). A literatura demonstra que espécies diferem amplamente quanto ao comportamento de armazenamento. Sementes ortodoxas podem tolerar dessecamento e baixas temperaturas, enquanto sementes recalcitrantes perdem rapidamente a viabilidade quando expostas a condições adversas (Cai; Shao; Shen, 2025). Estudos em espécies brasileiras como *Campomanesia* spp., *Myrciaria glomerata* e *Tocoyena formosa* mostram que variações no teor de água, tipo de embalagem e temperatura podem prolongar ou reduzir drasticamente a viabilidade em poucos meses, revelando grande diversidade funcional entre grupos taxonômicos (Elias *et al.*, 2023; Pinto *et al.*, 2025; Bonamigo; Masetto; Scalon, 2024).

Além das diferenças fisiológicas, mecanismos moleculares específicos explicam por que algumas espécies apresentam maior longevidade durante o armazenamento. A literatura destaca a atuação de compostos protetores que modulam o impacto do estresse oxidativo ao longo do tempo (Cai; Shao; Shen, 2025). Esses mecanismos influenciam a integridade de membranas, proteção de macromoléculas e eficiência metabólica pós-armazenamento. Ao mesmo tempo, hormônios regulam a dormência e estão relacionados tanto ao atraso ou aceleração do envelhecimento quanto à tolerância ao estresse (Cai; Shao; Shen, 2025). No contexto das mudanças climáticas, o aumento das temperaturas potencia a taxa de envelhecimento das sementes e impõe novos desafios para a conservação florestal, dificultando a reposição natural de populações e a expansão de espécies para novos habitats (Kijowska-Oberc; Staszak; Ratajczak, 2021).

A relevância ecológica do armazenamento de sementes vai além da conservação *ex situ*. A literatura mostra que o desempenho de sementes armazenadas influencia a regeneração de ecossistemas e a eficácia de técnicas como semeadura direta. Características como massa da semente, velocidade de germinação e tipo de cotilédone são fortes preditores do estabelecimento de plântulas em campo, o que implica em programas de restauração em larga escala. Somado a isso, padrões ecológicos como dispersão, dormência e tolerância à dessecação determinam a dinâmica

de bancos de sementes e influenciam a persistência de populações florestais frente a distúrbios antrópicos e mudanças ambientais (Souza; Engel, 2024).

Diante da crescente demanda por conservação de germoplasma, restauração ecológica e produção de mudas adaptadas aos biomas brasileiros, compreender o estado atual da produção científica sobre armazenamento, conservação e longevidade de sementes florestais é essencial para orientar avanços metodológicos e identificar lacunas de conhecimento. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a evolução da literatura sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras nas últimas três décadas, identificando padrões temporais, periódicos mais produtivos, temas emergentes e estruturas conceituais por meio de análises bibliométricas e estatísticas multivariadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estratégia de busca e fonte de dados

A revisão bibliométrica foi realizada utilizando a base *Web of Science – Core Collection*, reconhecida internacionalmente pela ampla cobertura multidisciplinar e pela padronização rigorosa dos metadados. O objetivo central desta etapa foi identificar publicações relacionadas ao armazenamento, conservação, viabilidade e longevidade de sementes de espécies florestais brasileiras, contemplando estudos com enfoque fisiológico, ecológico e aplicado. Para garantir sensibilidade e precisão na recuperação dos registros, utilizou-se o seguinte operador booleano: ("seed storage" OR "seed conservation" OR "seed longevity" OR "seed viability") AND (forest* OR "tree species" OR "woody species" OR "native species") AND (Brazil OR Brasil OR "Brazilian forest" OR "Brazilian species").

Esse conjunto de termos permitiu abranger diferentes descrições utilizadas pelos autores para tratar de armazenamento de sementes florestais nativas do Brasil, assegurando a inclusão de pesquisas realizadas em múltiplos biomas, condições experimentais e abordagens metodológicas. A busca resultou em 163 publicações, abrangendo o período de 1996 a 2025, representando quase três décadas de produção científica sobre o tema.

2.2 Extração e preparação dos dados

Os registros bibliográficos foram exportados da *Web of Science* em dois formatos distintos, conforme a finalidade analítica. Para as análises bibliométricas tradicionais, utilizou-se o formato *plain text*, padrão da plataforma. Já para a Análise de Componentes Principais (PCA), optou-se pela exportação em *Tab-delimited file*, que mantém a separação tabular necessária para a construção da matriz termo-documento. Os arquivos foram importados para o *software R* (R Core Team, 2024) e

convertidos em dataframes padronizados por meio da função `convert2df()` do pacote *bibliometrix*, garantindo a organização e consistência de informações essenciais, como autores, periódicos, ano de publicação, palavras-chave dos autores (DE), palavras-chave indexadas (ID) e afiliações institucionais.

As palavras-chave provenientes dos campos DE e ID foram então combinadas em um único conjunto e submetidas a um processo de limpeza e padronização. Essa etapa incluiu a conversão dos termos para letras minúsculas, a remoção de espaços excedentes e a exclusão de palavras vazias, numéricas ou irrelevantes. Duplicatas foram eliminadas e aplicou-se uma filtragem adicional baseada em uma lista personalizada de termos pouco informativos, visando garantir que apenas palavras-chave representativas e semanticamente consistentes fossem incluídas nas análises.

Após o pré-processamento, foi construída uma matriz termo-documento binária, na qual cada linha representa um artigo e cada coluna representa uma palavra-chave, com valores que indicam presença ou ausência do termo em cada registro. Essa matriz serviu como base para as análises multivariadas, incluindo a PCA. Para essa etapa, foram considerados apenas os termos com frequência igual ou superior a 10 ocorrências, estratégia adotada para reduzir o ruído estatístico produzido por palavras-chave raras e assegurar a robustez interpretativa dos eixos principais.

2.3 Análises dos dados

Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2024), utilizando diferentes pacotes voltados à bibliometria, manipulação de dados e estatística multivariada. Inicialmente, foram conduzidas análises bibliométricas clássicas, que incluíram a quantificação da produção científica anual por meio da contagem de artigos publicados a cada ano. A evolução temporal foi representada graficamente utilizando *ggplot2*, permitindo visualizar padrões de crescimento e oscilações ao longo do período estudado. Também foi calculada a taxa de crescimento anual (%) e ajustado um modelo de regressão linear para identificar tendências significativas na produção científica. A produtividade dos periódicos foi avaliada pela contagem de artigos por título de periódico, possibilitando identificar os principais veículos de publicação relacionados ao tema do armazenamento de sementes florestais.

Como complemento à análise da distribuição entre periódicos, aplicou-se a Lei de Bradford, que organiza os periódicos em zonas de produtividade, onde a classificação em zonas foi realizada manualmente, com base na proporção acumulada de publicações. Essa abordagem permitiu identificar o núcleo Bradford (Zona 1), correspondente ao conjunto de periódicos responsáveis por aproximadamente um terço de todos os artigos publicados sobre o tema, evidenciando os principais canais de disseminação científica da área.

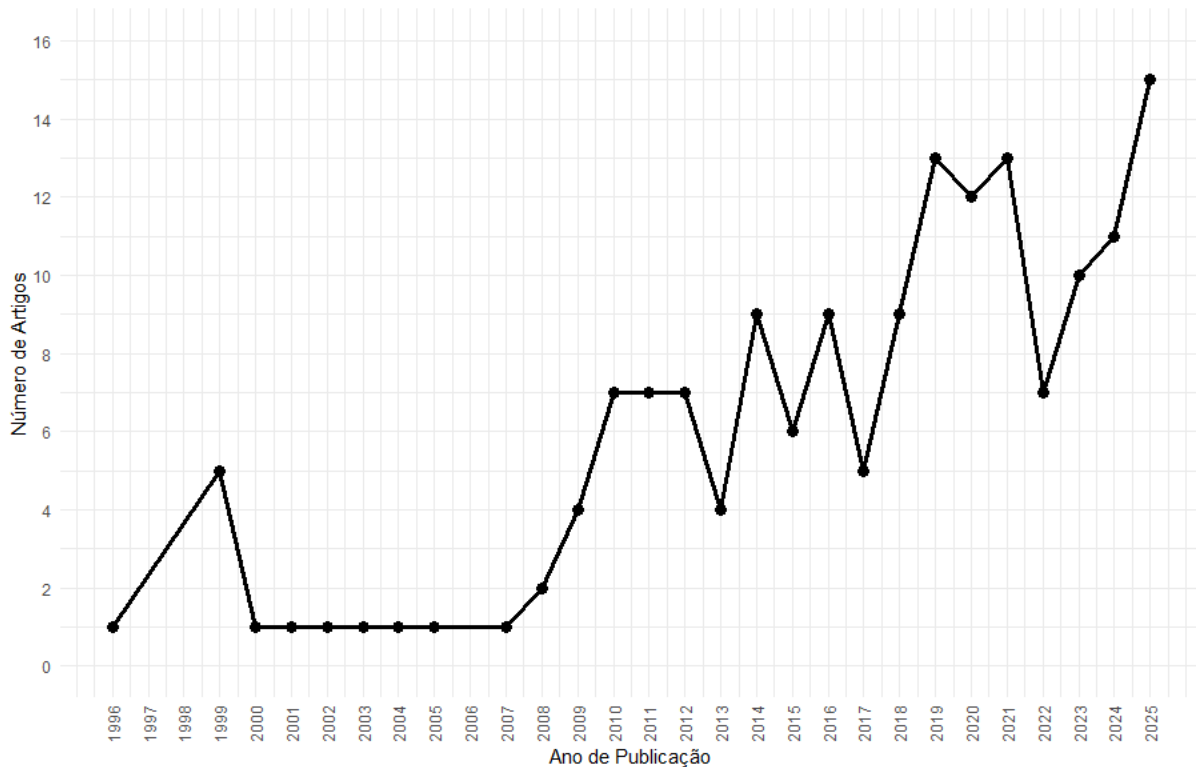
Além das análises bibliométricas, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de identificar padrões estruturais de coocorrência entre palavras-chave e revelar agrupamentos temáticos emergentes na literatura. A PCA foi realizada no pacote *FactoMineR*, utilizando uma matriz termo-documento reduzida composta apenas por palavras-chave com frequência mínima de dez ocorrências. A visualização dos eixos fatoriais foi obtida por meio do pacote *factoextra*, que destacou a contribuição relativa dos termos por gradientes de cores. Essa análise permitiu identificar temas recorrentes e padrões relacionados à regeneração e dinâmica populacional. As análises foram apoiadas pelos pacotes *bibliometrix*, *dplyr*, *ggplot2*, *FactoMineR*, *factoextra* e *tidyr*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção científica ao longo do tempo

A produção científica sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras evoluiu de forma significativa ao longo dos últimos 30 anos, resultando em 163 artigos recuperados na busca bibliográfica, o que representa um padrão de crescimento contínuo e consistente (Figura 1). Os primeiros registros foram pontuais: 1996 marcou o início da série com apenas 1 publicação, seguido por anos isolados de baixa produtividade, como 1999 (5 artigos), 2000–2005 (1 artigo/ano) e 2007 (1 artigo).

Figura 1 – Produção científica anual sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras entre 1996 e 2025.



Fonte: Autores, 2025.

A partir de 2008, observa-se uma intensificação progressiva da produção, com 2 artigos em 2008, 4 em 2009 e um salto para 7 publicações anuais entre 2010 e 2012. Essa fase inicial de crescimento sugere maior consolidação dos estudos sobre longevidade, tolerância à dessecação e conservação de sementes de espécies florestais tropicais. Apesar de uma oscilação em 2013 (4 artigos), o avanço se consolidou novamente em 2014 (9 artigos) e 2016 (9 artigos), marcando o início de um período de expansão mais expressiva.

Entre 2017 e 2025, a produção científica atinge os níveis mais elevados da série histórica. Destacam-se os anos de 2018 (9 artigos), 2019 (13 artigos), 2020 (12 artigos) e 2021 (13 artigos), indicando crescente interesse pela temática, possivelmente associado à ampliação dos estudos sobre conservação *ex situ*, bancos de sementes e restauração ecológica em larga escala. Após um declínio pontual em 2022 (7 artigos), a produção volta a crescer em 2023 (10 artigos) e 2024 (11 artigos), culminando em 2025, ano de maior volume registrado, com 15 publicações.

A expansão observada ao longo das últimas três décadas acompanha o fortalecimento das pesquisas sobre conservação de sementes em resposta a desafios como o envelhecimento acelerado, perda de viabilidade e sensibilidade à dessecação. De acordo com Cai, Shao e Shen (2025), o aumento da demanda por técnicas de armazenamento está diretamente relacionado à urgência em

conservar recursos genéticos e aprimorar estratégias de manejo *ex situ*. Estudos como os de Kijowska-Oberc, Staszak e Ratajczak (2021) mostram que mudanças climáticas e estresses ambientais intensificam o envelhecimento das sementes, ampliando o interesse por investigações sobre longevidade e mecanismos fisiológicos associados. Em paralelo, pesquisas aplicadas em espécies nativas, como *Tocoyena formosa* (Bonamigo; Masetto; Scalon, 2024), *Campomanesia* spp. (Elias *et al.*, 2023) e *Myrciaria glomerata* (Pinto *et al.*, 2025), mostram a necessidade de aprimorar protocolos de conservação para espécies brasileiras.

3.2 Crescimento anual e tendência temporal

A variação anual da produção científica apresentou oscilações típicas de áreas em desenvolvimento, com forte sensibilidade ao número absoluto de publicações por ano, com um total de 163 publicações entre 1996 e 2025. Nos primeiros anos, a baixa base amostral amplificou percentuais extremos: entre 1996 e 1999 houve aumento de +400%, seguido por queda de -80% em 2000. Esse padrão é comum em campos emergentes, conforme observado por Cai, Shao e Shen (2025) ao discutir a recente expansão dos estudos de longevidade de sementes e a baixa estabilidade inicial da área. A partir de 2008, o crescimento tornou-se mais consistente, com aumentos sucessivos (ex.: +100% entre 2008–2009 e +75% entre 2009–2010), indicando maior consolidação temática, em linha com o avanço das pesquisas sobre fisiologia de sementes descrito por Kijowska-Oberc, Staszak e Ratajczak (2021).

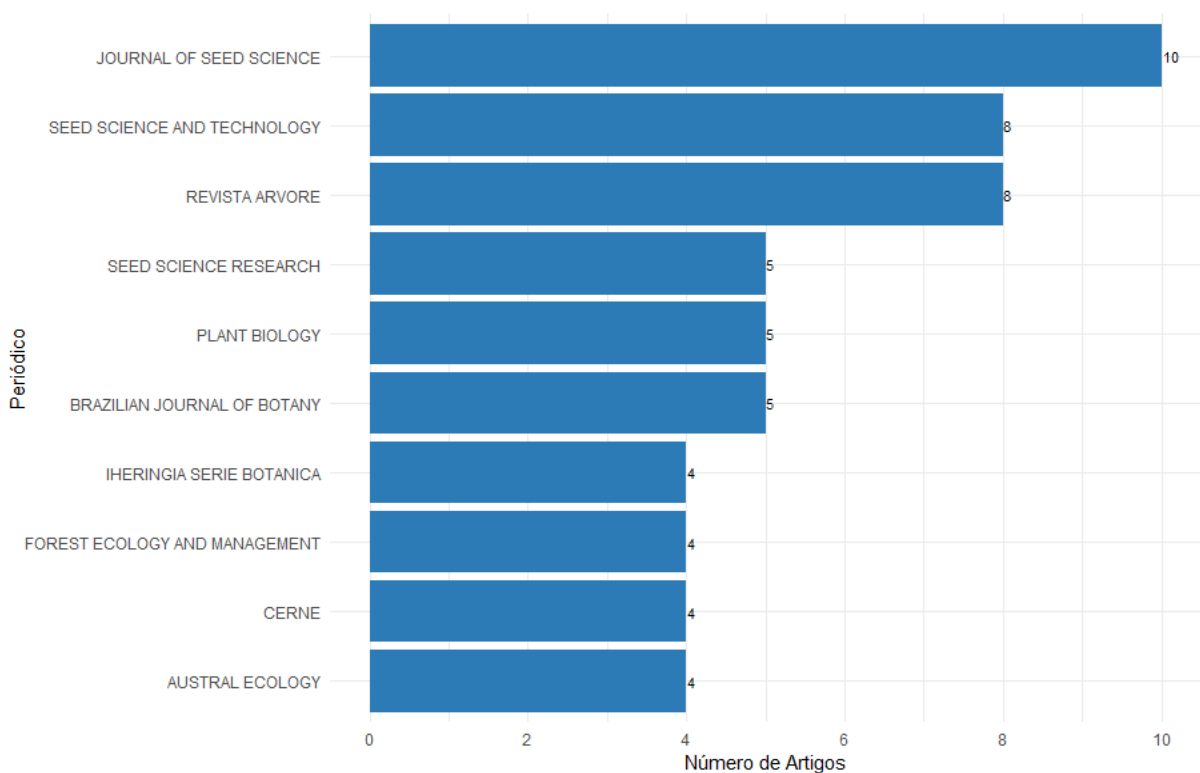
Entre 2014 e 2025, o padrão se torna mais forte e menos sujeito a variações extremas. Destacam-se aumentos expressivos, como +125% em 2014, +50% em 2016 e +80% em 2018, além de valores positivos mais moderados nos anos recentes (2023: +42,9%; 2024: +10%; 2025: +36,4%). Reduções pontuais (2015: -33%; 2017: -44%; 2022: -46%) são seguidas por retomadas imediatas, o que sugere oscilações inerentes ao ciclo de projetos, financiamento e publicação científica, e não redução de interesse na área.

A tendência temporal ajustada por regressão linear confirmou crescimento estrutural da área. O coeficiente angular positivo ($\beta = 0,454$; $p < 0,001$) indica aumento médio de aproximadamente 0,45 artigos por ano, enquanto o elevado R^2 (0,746) mostra que 75% da variação anual é explicada pelo tempo. Esse padrão indica expansão contínua e maturação da linha de pesquisa, consistente com a intensificação global dos estudos sobre armazenamento, estabilidade fisiológica e conservação de sementes florestais apontada por Souza & Engel (2024) e Pinto *et al.* (2025). Em conjunto, esses resultados mostram que a temática vem ganhando relevância científica, metodológica e aplicada, acompanhando avanços na conservação *ex situ*, nos estudos de tolerância à dessecação e nas demandas crescentes por restauração ecológica e preservação de germoplasma.

3.3 Periódicos mais produtivos

A análise da distribuição das publicações entre os periódicos mostrou que a produção científica sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras está concentrada em um conjunto relativamente restrito de revistas especializadas (Figura 2). O periódico mais produtivo foi o *Journal of Seed Science*, com 10 artigos, consolidando-se como o principal veículo de divulgação da área no Brasil e na América Latina. Essa predominância é condizente com o escopo da revista, que abrange temas relacionados à biologia, tecnologia, conservação e qualidade fisiológica de sementes.

Figura 2 – Periódicos mais produtivos na temática de armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras, considerando as dez revistas com maior número de publicações no período analisado.



Fonte: Autores, 2025.

Na sequência, destacam-se Revista *Árvore* e *Seed Science and Technology*, ambas com 8 publicações cada. A presença simultânea de uma revista nacional e outra internacional entre as mais produtivas mostra o protagonismo brasileiro quanto a inserção global das pesquisas sobre sementes florestais. Em seguida, aparecem *Seed Science Research*, *Plant Biology* e *Brazilian Journal of Botany*, todas com 5 artigos, todas na interface entre estudos de fisiologia de sementes e ecologia vegetal.

Os periódicos *Austral Ecology*, *Cernea*, *Forest Ecology and Management* e *Iheringia Série Botânica*, cada um com 4 publicações, complementam o grupo das dez revistas mais produtivas. A diversidade temática desse conjunto, abrangendo ecologia, manejo florestal, botânica e tecnologia de sementes, demonstra que o armazenamento de sementes florestais é um campo multidisciplinar, Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

difundido simultaneamente em revistas especializadas e de ampla cobertura dentro das ciências biológicas e florestais.

A concentração da produção científica em poucos periódicos está alinhada com o padrão observado em áreas que dependem de bases experimentais específicas e forte especialização temática. De acordo com Cai, Shao e Shen (2025), a pesquisa sobre armazenamento e longevidade de sementes exige abordagens que integram fisiologia, bioquímica e técnicas de conservação, o que explica a predominância de revistas especializadas, como *Journal of Seed Science* e *Seed Science and Technology*.

A diversidade de periódicos presentes entre os mais produtivos também reflete o caráter multidisciplinar da tecnologia e conservação de sementes. Segundo Thapliyal *et al.* (2025), a ciência de sementes envolve temas que perpassam biologia reprodutiva, manejo florestal e tecnologia aplicada, enquanto Sukirti *et al.* (2025) destacam que avanços em conservação genética e bancos de sementes ampliam o diálogo entre ecologia, genética e restauração, justificando a presença de periódicos de ecologia e manejo entre os mais representativos.

3.4 Núcleo Bradford

A aplicação da Lei de Bradford permitiu identificar a distribuição da literatura entre periódicos com diferentes níveis de produtividade. No total, foram analisados 163 artigos distribuídos em 84 periódicos distintos, indicando ampla dispersão do conhecimento sobre armazenamento, conservação e longevidade de sementes florestais brasileiras.

A ordenação dos periódicos por número de publicações revelou que poucos títulos concentram uma parcela expressiva da produção científica. O núcleo Bradford (Zona 1), definido como o conjunto de periódicos responsáveis por aproximadamente um terço dos artigos publicados, foi composto por nove revistas: *Journal of Seed Science* (10 artigos), *Revista Árvore* (8), *Seed Science and Technology* (8), *Brazilian Journal of Botany* (5), *Plant Biology* (5), *Seed Science Research* (5), *Austral Ecology* (4), *CERNE* (4) e *Forest Ecology and Management* (4). Juntas, essas revistas acumulam 53 publicações (32,5% do total).

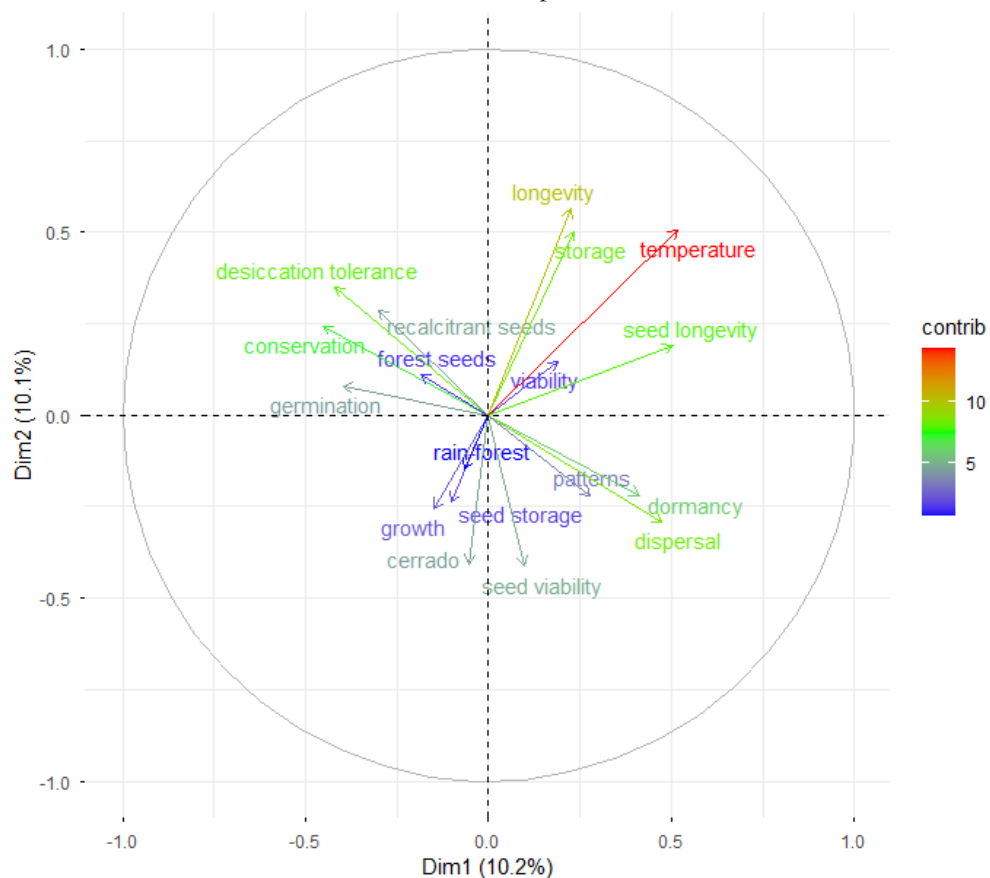
Essa configuração mostra que, apesar da ampla diversidade de periódicos que publicam sobre o tema, a base conceitual do campo permanece concentrada em revistas especializadas em tecnologia de sementes, ecologia vegetal e conservação florestal. Revisões recentes apontam que os estudos sobre armazenamento, longevidade e qualidade fisiológica de sementes seguem uma abordagem multidisciplinar, integrando aspectos moleculares, fisiológicos e aplicados (Cai; Shao; Shen, 2025; Thapliyal *et al.*, 2025). A predominância desses periódicos também mostra a crescente

demanda por pesquisas voltadas à conservação *ex situ* e à manutenção de recursos genéticos em um contexto de mudanças climáticas e pressões ambientais recorrentes (Sukirti *et al.*, 2025).

3.5 Análise de Componentes Principais (PCA) das palavras-chave

A PCA aplicada à matriz termo-documento das palavras-chave permitiu sintetizar a estrutura temática da literatura sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras (Figura 3). Os dois primeiros eixos explicaram 10,2% (Dim1) e 10,1% (Dim2) da variância total. Apesar dos percentuais relativamente modestos, a distribuição dos vetores no plano fatorial indica padrões claros de associação entre conceitos fisiológicos, ecológicos e de conservação.

Figura 3 – Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada às palavras-chave dos artigos sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras.



Nota: Os vetores representam os termos e sua correlação com os dois primeiros eixos (Dim1 = 10,2%; Dim2 = 10,1%), e as cores indicam a contribuição relativa de cada palavra-chave para a formação das dimensões (de azul = baixa contribuição a vermelho = alta contribuição).

Fonte: Autores, 2025.

O eixo 1 (Dim1) diferencia um conjunto de termos associados ao armazenamento e à longevidade de sementes, como *temperature*, *storage* e *seed longevity*, que refletem estudos voltados a condições controladas de conservação e manutenção da viabilidade. Pesquisas recentes reforçam essa abordagem ao destacar mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos na estabilidade

durante o armazenamento e na prevenção do envelhecimento (Cai; Shao; Shen, 2025); Thapliyal *et al.*, 2025). No sentido oposto, termos como *dormancy*, *dispersal* e *patterns* representam trabalhos de orientação ecológica, relacionados à dinâmica de bancos de sementes, regeneração natural e estratégias reprodutivas das espécies, conforme discutido em revisão sobre a importância do banco de sementes no solo (Anju; Warriar; Kunhikannan, 2022). Assim, Dim1 pode ser interpretado como um gradiente que vai de pesquisas tecnológicas e de manejo de armazenamento até estudos ecológicos.

Já o eixo 2 (Dim2) destaca principalmente conceitos relacionados à tolerância à dessecação e conservação de sementes recalcitrantes. Termos como *desiccation tolerance*, *conservation*, *recalcitrant seeds* e *forest seeds* ocupam a porção superior do plano fatorial, indicando forte coocorrência em estudos que investigam os limites fisiológicos de perda de água, a sensibilidade de sementes recalcitrantes ao estresse hídrico e as implicações disso para bancos de germoplasma e conservação *ex situ* (Pinto *et al.*, 2025). Na porção inferior do eixo aparecem palavras como Cerrado, *rain-forest*, *growth* e *seed storage*, sugerindo um grupo de trabalhos que articulam contexto de bioma (floresta tropical úmida e Cerrado), crescimento inicial de plântulas e desempenho pós-armazenamento, aproximando a tecnologia de sementes de questões de restauração ecológica e manejo florestal (Rodrigues *et al.*, 2022; Elias *et al.*, 2023; Pinto *et al.*, 2025).

De forma integrada, a PCA indica a existência de três grandes núcleos temáticos na literatura analisada: (i) estudos de armazenamento e longevidade, centrados em temperatura, tempo de estocagem e manutenção da viabilidade; (ii) pesquisas voltadas à ecologia de sementes, incluindo dormência, dispersão e padrões de regeneração; e (iii) trabalhos focados em tolerância à dessecação e comportamento de sementes recalcitrantes, com forte interface com conservação genética e bancos de sementes.

De acordo com Cai, Shao e Shen (2025) e Rodrigues *et al.* (2022), estudos de armazenamento e longevidade têm enfatizado temperatura, estabilidade fisiológica e manutenção da viabilidade. Já pesquisas sobre ecologia de sementes, incluindo dormência e regeneração, seguem a perspectiva sintetizada por Anju *et al.* (2022), de que os bancos de sementes do solo são imprescindíveis na regeneração natural de florestas, na manutenção da biodiversidade e na recuperação de áreas degradadas. Por fim, trabalhos centrados em tolerância à dessecação e conservação de sementes recalcitrantes são amplamente discutidos por Rodrigues *et al.* (2022), Pinto *et al.* (2025) e Sukirti *et al.* (2025).

4 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica mostrou que as pesquisas sobre armazenamento de sementes de espécies florestais brasileiras cresceram de forma consistente nas últimas três décadas, acompanhando a expansão da conservação *ex situ*, o avanço da tecnologia de sementes e as novas demandas associadas à restauração ecológica. Os 163 artigos identificados demonstram maior consolidação metodológica, fortalecimento de periódicos especializados e diversificação temática, refletida nos três núcleos indicados pela PCA: estudos de longevidade e armazenamento, ecologia de sementes e tolerância à dessecação. As tendências observadas indicam amadurecimento da área no Brasil, com produção científica cada vez mais integrada a abordagens moleculares, fisiológicas e ecológicas, pela necessidade de ampliar protocolos de conservação e aprofundar o entendimento dos mecanismos que determinam a viabilidade e o comportamento das sementes florestais.

REFERÊNCIAS

- BONAMIGO, T.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q. Seed storage influences the seedling emergence and growth of *Tocoyena formosa*, a native species from Brazilian Savannah? **Iheringia, Série Botânica**, [S. l.], v. 79, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21826/2446-82312024v79e20241007>.
- CAI, H.; SHAO, J.; SHEN, Y. Seed Storability in Forest Trees: Research Progress and Future Perspectives. **Forests**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 467, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/f16030467>.
- ELIAS, R. A.; GOETEN, D.; SILVA, M. M.; SANTOS, A.; STEINER, N. Vigor and viability during seed storage of three *Campomanesia* species endemic to southern Brazil. **Trees**, [S. l.], v. 37, p. 1417–1433, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02433-1>.
- KIJOWSKA-OBERC, J.; STASZAK, A. M.; RATAJCZAK, E. Climate change affects seed aging? Initiation mechanism and consequences of loss of forest tree seed viability. **Trees**, [S. l.], v. 35, p. 1099–1108, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02072-w>.
- PINTO, F.; SANTOS, S. C.; TOLEDO, M. Z.; MASETTO, T. E.; BIAZATTI, R. M.; DRESCH, D. M.; SANTOS, C. C. Drying of *Myrciaria glomerata* O. Berg. seeds: an approach for ex-situ conservation of a tropical forest species. **Plant Ecology**, [S. l.], v. 226, p. 753–762, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-025-01528-8>.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Version 4.4.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
- RODRIGUES, G. A. G.; SILVA, D. da; RIBEIRO, M. I.; LOAIZA-LOAIZA, O. A.; ALCANTARA, S.; KOMATSU, R. A.; BARBEDO, C. J.; STEINER, N. What affects the desiccation tolerance threshold of Brazilian *Eugenia* (Myrtaceae) seeds? **Journal of Plant Research**, [S. l.], v. 135, p. 579–591, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-022-01396-7>.

SOUZA, D. C.; ENGEL, V. L. Seed functional traits as predictors of seedling establishment success in Brazilian tropical forest restoration. **Biotropica**, [S. l.], 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.13355>.

SUKIRTI; CHANDOLA, S.; MEENA, R. K.; BHANDARI, M. S.; BARTHWAL, S.; THAPLIYAL, M. Advanced Biotechnological Approaches for Seed Germplasm Conservation and Forest Genetic Resource Preservation. *In: **Advances in Seed Quality Evaluation and Improvement***. [S. l.]: Springer, 2025. p. 405–429. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-96-5178-8_16.

THAPLIYAL, M.; PHULAR, K.; NAMITHA, N. K.; RAWAT, S.; CHAND, V. P. Forest Seed Technology: Seed Biology, Collection, Quality Evaluation, Storage and Certification. *In: **Textbook of Forest Science***. [S. l.]: Springer, 2025. p. 659–678. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-8289-5_30.

CAPÍTULO 5

MATÉRIA FRESCA E SECA DE GERGELIM SOB IRRIGAÇÃO SALINA COM DIFERENTES DOSES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE CINZAS DA CANA-DE-AÇÚCAR




FRESH AND DRY SESAME MATTER UNDER SALINE IRRIGATION WITH DIFFERENT DOSES AND APPLICATION TIMES OF SUGARCANE ASH

Paloma da Silva Alves   

Graduada em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE, Brasil

Raissa Mirelle Alves Barbosa   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE, Brasil

Jakelyne Monair Vieira de Carvalho   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE, Brasil

Vitor Gabriel Pereira Santos   

Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST)(UFRPE), Serra Talhada-PE, Brasil

Edimir Xavier Leal Ferraz   

Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/SEDE (UFRPE/SEDE), Doutorando no departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco/SEDE(UFRPE/SEDE), Recife-PE, Brasil

José Edson Florentino de Morais   


Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/Sede (UFRPE/Sede), Pós Doutorando do CNPq no departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Sede(UFRPE/SEDE), Recife-PE, Brasil

Breno Leonan de Carvalho Lima   

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/ SEDE (UFRPE/Sede), Docente do Depto de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco/SEDE (DTR/UFRPE), Recife-PE, Brasil

Raquele Mendes de Lira   

Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco/SEDE (UFRPE/SEDE), Docente do Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada-PE, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1155 

Resumo: O gergelim é a oleaginosa mais antiga cultivada pela humanidade, porém seu cultivo em semiárido é prejudicado pela irrigação frequente de águas salinas, o que intensifica o estresse nas plantas. Diante disto, é fundamental adotar práticas capazes de reduzir os efeitos negativos dos sais na agricultura. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar destacam-se como alternativa promissora, pois fertilizam o solo, tem elevado teor de silício, que mitiga o estresse salino. Objetivou-se avaliar doses e épocas de aplicação de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar sobre o gergelim irrigado com água salina. Experimento ocorreu na UFRPE/UAST, em delineamento casualizado, esquema fatorial (4×3) + 3 testemunhas, com quatro repetições. Testou-se quatro doses de cinzas (40, 80, 120 e 160 g planta⁻¹) e três épocas de aplicação de cinzas ao solo (E1= No momento do plantio; E2 =30 dias antes do plantio e E3= 60 dias antes do plantio) irrigados com água salina e três testemunhas adicionais (T1= Sem adubação + água salobra (3,88 dS m⁻¹); T2= Adubação recomendada + água salobra e T3 = Adubação recomendada + água de baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹)). Aos 74 dias após o plantio (DAP) foi realizada a colheita e obtido as massas fresca e seca de parte aérea e raiz. Os resultados indicaram que tanto as doses quanto as épocas de aplicação das cinzas influenciam o crescimento do gergelim. A aplicação de cinzas 30 dias antes da semeadura mostrou-se mais eficiente, permitindo maiores resultados de massas das plantas.

Palavras-chave: *Sesamum indicum* L. Cinzas vegetais. Salinidade. Semiárido.

Abstract: Sesame is the oldest oilseed cultivated by humankind, but its cultivation in semi-arid regions is hampered by frequent irrigation with saline water, which intensifies stress on the plants. Given this, it is essential to adopt practices capable of reducing the negative effects of salts in agriculture. Sugarcane bagasse ash stands out as a promising alternative, as it fertilizes the soil and has a high silicon content, which mitigates saline stress. The objective was to evaluate the doses and application times of sugarcane bagasse ash on sesame irrigated with saline water. The experiment took place at UFRPE/UAST, in a randomized design, factorial scheme (4×3) + 3 controls, with four replications. Four ash doses (40, 80, 120 and 160 g plant⁻¹) and three ash application times to the soil (E1 = At planting time; E2 = 30 days before planting and E3 = 60 days before planting) irrigated with saline water were tested, and three additional controls (T1 = No fertilization + brackish water (3.88 dS m⁻¹); T2 = Recommended fertilization + brackish water and T3 = Recommended fertilization + low salinity water (0.5 dS m⁻¹)) were tested. At 74 days after planting (DAP), the harvest was carried out and the fresh and dry mass of the aerial part and root was obtained. The results indicated that both the doses and the application times of the ash influence the growth of sesame. Applying ash 30 days before sowing proved to be more efficient, allowing for greater plant biomass yields.

Keywords: *Sesamum indicum* L 1. Vegetable ash 2. salinity 3. Semiarid 4.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A cultura do Gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é a mais antiga oleaginosa conhecida e produzida pela humanidade. Seu principal produto comercial são as sementes, que tem uma composição de 50% de teor óleo de excelente qualidade, com propriedades antioxidantes, devido à presença de substâncias como a sesamolina, o sesamol e a sesamina e de teor proteico 25% (EMBRAPA, 2014; Pavani *et al.*, 2020).

Além de apresentar ótima adaptabilidade às condições edafoclimáticas de clima quente, o gergelim tem bom nível de resistência à seca e facilidade de cultivo, características que o transformam em excelente opção de diversificação agrícola e grande potencial econômico nos mercados nacional e internacional (Arriel *et al.*, 2007).

A produção do gergelim apresenta pouca expressividade na produção, em detrimento a outras oleaginosas, no Brasil, entretanto, na safra 22/23, foi estimado uma área cultivada em torno de 361,2 mil hectares, produção de 174,2 mil toneladas e uma produtividade de 482 kg ha⁻¹ de gergelim (CONAB, 2023).

Estes resultados estão abaixo do rendimento médio quando a produção é realizada totalmente sob irrigação. Segundo Cruz *et al.* (2019) a produtividade do gergelim pode chegar até 1500 kg ha⁻¹ quando irrigado. No entanto, um grande fator que deve ser levado em consideração é a qualidade da água de irrigação, que no semiárido por exemplo, apresenta altos teores de sais, o que pode comprometer a produção agrícola no geral.

1.2 Salinidade na água de irrigação

A água é um dos elementos mais cruciais para o progresso de qualquer ser vivo e a sua ausência representa uma das maiores limitações ao crescimento e evolução das plantas (Lopes *et al.*, 2011).

A irrigação em regiões áridas e semiáridas tende a ser oriunda de poços artesianos e semi-artesianos que devido à baixa pluviosidade e alta demanda evaporativa, torna esses locais susceptíveis à salinização do solo trazendo prejuízos à agricultura (De Souza *et al.*, 2022). Todavia, a irrigação com o uso da água salobra desencadeia alterações moleculares, bioquímicas e fisiológicas nas culturas, englobando a toxicidade das plantas e a diminuição do crescimento e da eficiência produtiva das mesmas (Rocha Ribeiro *et al.*, 2022). Desta maneira, se faz necessário utilizar formas resilientes que potencializem a produção das plantas e reduzam os efeitos da salinização.

1.3 Cinzas do bagaço da Cana-de-açúcar

O crescimento e o desenvolvimento vegetal estão diretamente relacionados com os processos fisiológicos e a utilização correta de adubos na produção. A adubação e a nutrição mineral são fatores essenciais para ganhos na quantidade e qualidade do produto, garantindo retorno adequado na produção (Oliveira *et al.*, 2012)

O bagaço da cana-de-açúcar é um resíduo caracterizado também como subproduto da indústria sucroalcooleira. O processo de reaproveitamento das cinzas reduz a necessidade de utilização de fertilizantes comerciais, em substituição por um ambientalmente seguro (Bega, 2014).

Pesquisas indicam que, além de ser uma fonte rica em macro e micronutrientes vitais para a agricultura, as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar também possuem uma alta capacidade de corrigir a acidez do solo, graças à sua alta concentração de carbonatos de cálcio e magnésio.

A cultura da Cana-de-açúcar é caracterizada por ser acumuladora de silício, apresentando concentrações elevadas nas suas cinzas. Alguns trabalhos comprovam efeitos positivos do uso do silício para atenuar o estresse salino (Sousa, 2020; Machado, 2020). O Si é capaz de modificar o processo de trocas gasosas e aumentar os níveis de clorofila, que por consequência aumenta também a fotossíntese (Veneziano, 2024), proporcionando desta maneira, melhores resultado no crescimento e desenvolvimento das plantas sob estresse.

Contudo objetivou-se avaliar a matéria fresca e seca da parte aérea e de raiz do gergelim irrigado com água salina submetido a diferentes doses e épocas de aplicação de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

O estudo foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) situada na porção setentrional da microrregião do Vale do Pajeú, distante 407,3 km da capital Recife-Pernambuco. A área experimental foi em casa de vegetação situada à 07° 59' 31" de latitude Sul e 38° 17' 54" de longitude Oeste, a uma altitude média de 435 m.

2.2 Condução do experimento

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial $((4 \times 3) + 3)$, com 4 repetições totalizando 60 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em quatro doses de cinzas de bagaço da cana-de-açúcar (40, 80, 120 e 160 g.planta⁻¹), três épocas de aplicação (E1= No momento do plantio; E2 =30 dias antes do plantio e E3= 60 dias antes do plantio) irrigados com água salina de poço e três testemunhas adicionais (T1= Sem adubação + água salobra (3,88 dS m⁻¹); T2= Adubação recomendada + água salobra (3,88 dS m⁻¹) e T3 = Adubação recomendada + água de baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹)). Cada unidade experimental foi representada por 1 planta cultivada em vaso com capacidade para 20 litros.

O solo dos vasos foi proveniente da cidade de São José do Belmonte em Pernambuco (PE), sendo o mesmo, caracterizado por sua textura franco-arenosa e suas características químicas podem ser verificadas na Tabela 1. Às cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, foram obtidas no Engenho Santa Luzia em Triunfo-PE, onde utilizam o bagaço como combustível para a produção de

rapadura. Essas cinzas foram analisadas quimicamente, avaliando-se macro e micronutrientes além do teor de silício (Si) (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise química do solo e cinzas do bagaço da Cana-de-açúcar.

Solo 0 - 20 cm												
MO	K	Ca	Mg	Na	Al ³⁺	P	Fe	Mn	Zn	Cu	CE	PH
g. kg ⁻¹	----- Cmolc dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----				dS m ⁻¹			
6	0,33	1,43	0,33	0,03	0	28,5	25,8	12,9	2,4	0,1	0,21	6
Solo 20 - 40 cm												
MO	K	Ca	Mg	Na	Al ³⁺	P	Fe	Mn	Zn	Cu	CE	PH
g. kg ⁻¹	----- Cmolc dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----				dS m ⁻¹			
6	0,33	1,43	0,33	0,03	0	28,5	25,8	12,9	2,4	0,1	0,21	6
Cinzas												
N	P	K	Ca	Mg	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	PH
----- g. kg ⁻¹ -----				----- mg Kg ⁻¹ -----								
2,03	9,39	4	19,3	11	45,23	21,9	35	5430	921	76	280	11,1

MO = Matéria orgânica; CE = Condutividade elétrica da água; PH = Potencial hidrogeniônico
Fonte: Elaborada pelos autores com base no resultado de laboratório.

Para os tratamentos testemunhas (T2 e T3) utilizando-se a adubação de acordo com as recomendações para o estado de Pernambuco (2008) para a cultura do Gergelim, que indicou 50, 40 e 20 kg.ha⁻¹ de N; P₂O₅ e K₂O para uma produção de 1000 kg ha⁻¹ de sementes. Quanto aos demais tratamentos a adubação concretizou-se com nitrogênio recomendado e o restante, baseada apenas nas doses de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar testados, e nas diferentes épocas de aplicação das doses. A aplicação da cinza vegetal foi realizada nos três períodos diferentes, todas elas após a saturação do solo.

2.3 Condições de plantio, material vegetal e irrigação

Em cada vaso foram semeadas 3 sementes da cultivar BRS Seda e aos 27 dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste deixando apenas uma planta por vaso.

A irrigação foi realizada dia sim dia não com base na evapotranspiração da cultura (ETc). Utilizou-se para irrigação água do poço artesiano da UAST, no qual, teve que ser acrescentado sais NaCl e CaCl₂ para atingir a CE desejada (3,88 dS m⁻¹).

2.4 Coleta de dados e Análise estatística da massa fresca e seca

Aos 74 DAP realizou-se a colheita das plantas sendo determinada a massa fresca da parte aérea (MF_{pa}) e de raiz (MR_r) utilizando uma balança analítica. Em seguida, as plantas foram colocadas em sacos de papel Kraft separados e identificados. Para secagem em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C (± 5) até atingirem peso constante, sendo assim determinada a massa seca da parte aérea (MS_{pa}) e massa seca de raiz (MS_r).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando significativo, as épocas de aplicação foram analisadas por meio do teste Turkey a 5% de probabilidade utilizando o software R, usando o pacote Trattamento.ad (R Development Core Team, 2020). Quanto às doses de cinzas, foram analisadas por meio de regressão polinomial utilizando o software Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de variância da Tabela 2 observou-se que houve interação entre as quantidades e épocas de aplicação das cinzas sobre as variáveis massa fresca de parte aérea (MF_{pa}) ($P < 0,01$), massa seca de parte aérea (MS_{pa}) ($P < 0,05$) e massa fresca de raiz (MF_r) ($P < 0,05$). As testemunhas também apresentaram efeito significativo para MF_{pa}, MS_{pa} e MF_r todas a 1% de probabilidade.

Tabela 2 – Resumo de análise de variância para as variáveis massa fresca e seca de parte aérea e raiz.

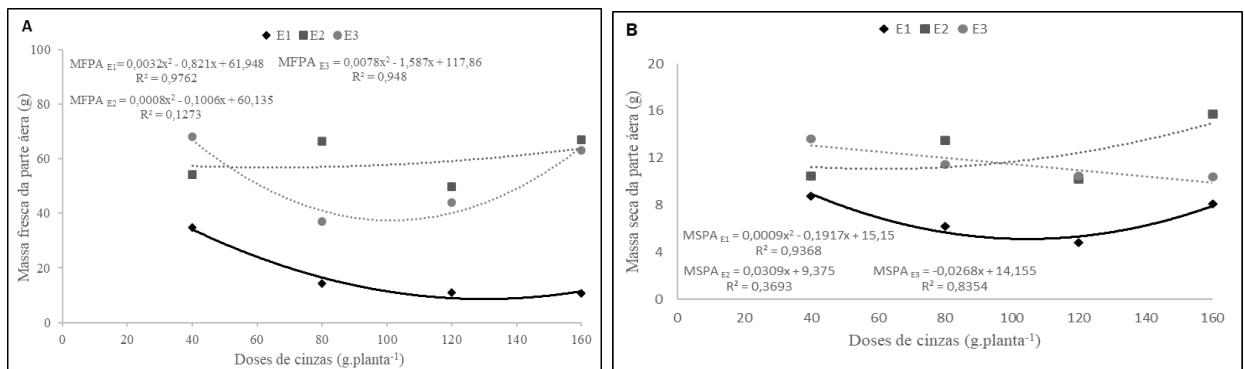
FV	GL	MF _{pa}	MS _{pa}	MF _r	MS _r
		----- QM -----			
Época (E)	2	8047,71**	137,58**	16,04 ^{ns}	9,66 ^{ns}
Doses (D)	3	729,18**	19,84*	48,09**	10,14 ^{ns}
E x D	6	497,54**	14,95*	32,78*	6,82 ^{ns}
Testemunhas (I)	2	2204,65**	54,75**	382,1**	6,02 ^{ns}
T x (E + D)	1	75,33 ^{ns}	6,75 ^{ns}	36,85 ^{ns}	3,71 ^{ns}
Resíduo	45	74,93	3,76	5,82	1,41
CV (%)	-	18,29	17,58	26,54	36,16

MF_{pa} – massa fresca de parte aérea, MS_{pa} – massa seca de parte aérea, MF_r – massa fresca de raiz, MS_r – massa seca de raiz, ^{ns} – não significativo, ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Autores, 2026.

Ao analisar a massa fresca e seca da parte aérea, observa-se que de maneira geral, os maiores resultados foram encontrados ao se aplicar as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com 30 dias antes do plantio. Ao derivar a equação foi encontrado uma dose de 62,9 gramas de cinzas por planta a que proporcionou maior resultado de massa fresca (Figura 1A). Já para as épocas E1 e E3 observou-se que aumentar a dose de cinzas diminuía a MFpa até certo ponto, com inflexão máxima ao se utilizar a dose de 128,28 e 101,7 g planta⁻¹ de cinzas em E1 e E3 respectivamente. Isto pode ter ocorrido pelo fato de na época 1 como as cinzas foram aplicadas no dia do plantio não deu tempo dos nutrientes estarem decompostos e liberados para utilização das plantas e já na época 3, como já fazia mais tempo de aplicação das cinzas os nutrientes poderiam ter lixiviados e não estarem disponíveis para a cultura.

Figura 1 – Análise de regressão para variável massa fresca da parte aérea (A) e seca de parte aérea (B).



Fonte: Alves, 2024.

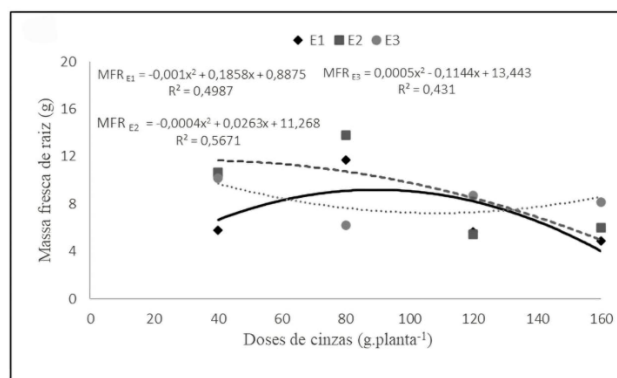
No solo ocorrem diversas reações entre o adubo e o mesmo, Severino *et al.* (2004) já afirmavam que os compostos orgânicos passam um certo tempo para se decompor e tornar os nutrientes disponíveis para a planta, o que pode ter ocorrido ao aplicar as cinzas com 30 DAS. Também, o solo por ter permanecido na capacidade de campo, pode ter proporcionado com que os nutrientes estivessem disponíveis para as plantas quando semeadas e fossem mais facilmente absorvidos através do fluxo de massa, ou ainda para os elementos considerados imóveis como o fósforo e ferro por exemplo, que são absorvidos por difusão ter a presença destes disponíveis perto das raízes das plantas. Segundo Oliveira *et al.* (2011), a absorção dos íons pelas plantas é um processo dinâmico e seletivo, entre outros fatores, depende de seu contato com as raízes, de sua concentração, da forma iônica a qual ele se encontra no meio, da proporção relativa entre os nutrientes e de condições ambientais.

Resultado semelhante a MFpa foi encontrado para MSPa com maior resposta ao aplicar as cinzas na época E2, no entanto com maior dose de cinzas aplicada e melhor resposta com

crescimento linear. Já para E1 observou-se um comportamento quadrático e E3 comportamento linear decrescente.

Verificando os resultados para massa fresca da raiz observa-se que apesar de apresentar efeito significativo entre épocas e doses, os coeficientes de determinação encontrados foram muito baixos (Figura 2). Apesar disto, verificou-se analisando o valor médio de MFr que utilizando uma dose de 80 g planta⁻¹ de cinzas foi obtido um resultado de 13,77 e 11,7 g de MFr planta⁻¹, nas épocas E2 e E1 respectivamente. Este fato pode ser explicado pela necessidade da planta em nutrientes e na tentativa de encontrá-los, desenvolver uma maior quantidade de raiz, provocando assim, um maior peso em massa.

Figura 2 – Análise de regressão para variável massa fresca de raiz.



Fonte: Alves, 2024.

Através do teste de Tukey para avaliação isolada das testemunhas, foi verificado que a MFpa, MSpa e MFr indicam que o tratamento T3 (adubação recomendada + água de baixa salinidade) apresentou os melhores desempenhos em todas as métricas (Tabela 3), seguido de respostas inferiores para a testemunha T2 (adubação recomendada + água salobra) e T1 (sem adubação + água salobra) respectivamente. Para a T3 este resultado já era esperado, devido ao fato de se aplicar a recomendação de adubação necessária par o bom desenvolvimento da cultura, que estava sem restrição hídrica e irrigação com água de boa qualidade. Sabe-se que a irrigação com água salina desestrutura o solo, causa problemas fisiológicos e de toxidez nas plantas, consequentemente diminui seu crescimento e desenvolvimento. Rocha Ribeiro *et al.* (2022) afirmam que, a salinidade desencadeia alterações moleculares, bioquímicas e fisiológicas nas culturas afetando a eficiência produtiva das mesmas.

Tabela 3 – Teste de comparação de média entre as testemunhas para massa fresca e seca da parte aérea (MF_{pa} e MS_{pa}) respectivamente, e massa fresca de raiz (MF_r).

Testemunhas	MF _{pa}	MS _{pa}	MF _r
T3	86,43a	18,2a	22,98a
T2	62,95b	11,59b	12,77b
T1	39,48c	12,02b	3,43c

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,5$).

Fonte: Autores, 2025.

Na presente pesquisa pôde-se verificar que mesmo sendo aplicado a adubação conforme a recomendação da cultura, nas condições em que foi executado o experimento, o gergelim apresenta uma diferença significativa em seu crescimento quando irrigado com água salobra de 3,88 dS m⁻¹. Cordão *et al.* (2020) constaram que cultivar de gergelim BRS seda possui capacidade de tolerância ao estresse salino à solução de até 1,8 dS m⁻¹ na fase de germinação, no entanto, com redução no crescimento. Segundo Silva *et al.* (2021), a salinidade de água superior a 2,7 dS m⁻¹ aplicada de forma contínua nas fases vegetativa e de floração prejudicam o acúmulo de massas das plantas de gergelim.

Ayres e Westcot (1991), afirmam que o gergelim é sensível à salinidade da água. No entanto, outros autores como Li *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2019), sugerem que a cultura é moderadamente tolerante ao estresse salino e que essa diversidade nas respostas do gergelim ao estresse de sal é condicionada por fatores genéticos ou estágios de desenvolvimento, concentração e tempo de exposição aos sais.

4 CONCLUSÃO

Verifica-se que tanto as doses de cinzas quanto as épocas de aplicação podem influenciar o crescimento do gergelim, em se tratando de massa fresca e seca da parte aérea e massa fresca de raiz.

O ideal é se aplicar as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar ao solo antes do plantio com 30 dias antecedente e com uma dose maior que a de 40 menor que a de 80 g planta⁻¹ para mais bem resultados de massa fresca da parte aérea.

Mesmo com adubação recomendada para a cultura, ocorre uma perda significativa de massa fresca e seca de parte aérea de planta, assim como massa fresca de raiz, ao se irrigar o gergelim com água salina.

REFERÊNCIAS

- ARRIEL, N. H. C. *et al.* **A cultura do gergelim**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007.
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- BEGA, R.M. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2014. 68 f. Tese (doutor em Agronomia). Programa de Pós-graduação em Produção vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana, v. 9 - Safra 2022/23, n. 2 – Décimo segundo levantamento**. Brasília, p. 1-59, agosto de 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-açúcar>. Acesso em: outubro 2025.
- CORDÃO, M. A. *et al.* Plântulas de gergelim cv. BRS seda sob aplicação de água salinizada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 3, p. 319-324, 2020. DOI: 10.18378/rvads.v15i3.7667
- CRUZ, N. F. F. S. *et al.* Características e tratos culturais do gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, p. 665-675, 2019.
- DE SOUZA, J. C. G. *et al.* Crescimento e produtividade em cultivares de alface submetida à irrigação com diferentes níveis de salinidade. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e217111133505-e217111133505, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33505.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Potencial econômico e nutricional do gergelim mobiliza pesquisa**, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2202864/potencial-economico-e-nutricional-do-gergelim-mobiliza-pesquisa>.
- LI, D. *et al.* Uncovers differential genetic bases for drought and salt tolerances in sesame at the germination stage. **Genes**, v.9, n.2, p.87, 2018. DOI: 10.3390/genes9020087.
- Lopes, O. D. *et al.* Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.548-553, 2011.
- MACHADO, M. S. **Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva**. 2020. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal do Ceará - UFC.
- OLIVEIRA, E.C.A. *et al.* Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n.3, p.579-588, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>.
- OLIVEIRA, L. C. *et al.* **Influência de adubações e manejo de adubo verde nos atributos biológicos de solo cultivado com alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema de cultivo orgânico**. Arquivos do Instituto Biológico, v.79, n.4, p.557-565, 2012b. <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572012000400013>.

PAVANI, K. *et al.* Studies on genetic variability parameters in sesame (*Sesamum indicum* L.). **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 4, p. 101–104, 2020. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i4b.9673.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. Disponível em: <http://www.r-project.org/index.html>. Acesso em: 12 de abril de 2024.

ROCHA RIBEIRO, R. M. *et al.* Irrigation strategies with saline water and phosphate fertilization in cowpea culture. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.17, p.2572-2572, 2022. DOI: 10.5039/agraria.v17i3a2572.

SEVERINO, L.S. *et al.* Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.1, p.1-7, 2004.

SILVA, A. A. R. *et al.* Morfofisiologia de genótipos de gergelim submetidos a diferentes estratégias de uso de água salina. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 42–55, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p42-55>.

SOUSA, V. F. O. Efeito da adubação silicatada em pimenteira sob estresse salino. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 2, 2020.

VENEZIANO, V. M. **Silício e óxido nítrico como atenuadores do estresse salino em alface e feijoeiro**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022. 93p.

YANG, Y.; GUO, Y. Elucidando os mecanismos moleculares que mediam as respostas ao estresse salino em plantas. **New Phytologist**, v. 217, n.2, 523-539, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14920>.

ZHANG, Y. *et al.* Comparative proteomic analysis of two sesame genotypes with contrasting salinity tolerance in response to salt stress. **Journal of Proteomics**, Valencia, v.201, n.1, p.73-83, 2019. DOI: 10.1016/j.jprot.2019.04.017

CAPÍTULO 6

ESTRUTURA DO HABITAT NÃO MODULA A EFICIÊNCIA DE FORRAGEAMENTO DE FORMIGAS (Hymenoptera: Formicidae)

HABITAT STRUCTURE DOES NOT MODULATE ANT FORAGING EFFICIENCY (Hymenoptera: Formicidae)

Miqueias da Silva Almeida   

Mestrando em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Izabelle Graziellen Alves Rossi   

Mestranda em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Heloize Maia Dos Santos   


Mestranda em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

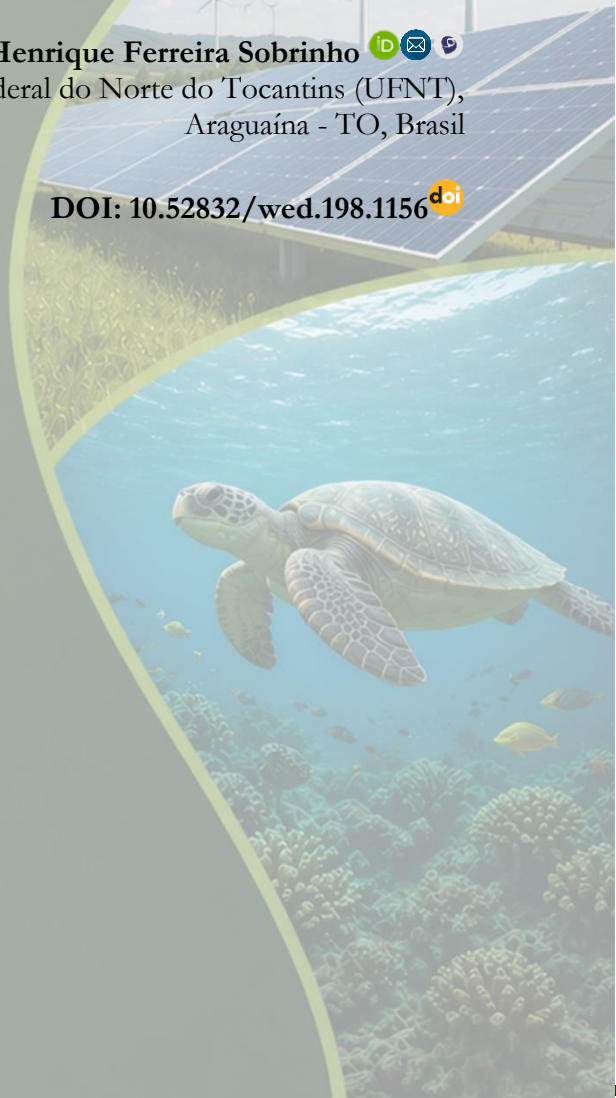
Thiago Ayandro   

Graduado em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados -MS, Brasil

Pedro Henrique Ferreira Sobrinho   

Licenciatura em Biologia, Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Araguaína - TO, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1156 



Resumo: A estrutura do habitat é frequentemente apontada como um fator determinante do comportamento de forrageamento de formigas, sobretudo por alterar a complexidade física do substrato e o microclima do solo. Contudo, esse efeito pode ser atenuado em sistemas dominados por espécies generalistas, capazes de ajustar suas estratégias de exploração de recursos. Nesse contexto, este estudo avaliou se a presença de serapilheira influencia a probabilidade e o tempo de descoberta de iscas por formigas em um ambiente natural do Pantanal Sul-Mato-Grossense. A pesquisa foi conduzida na Área de Proteção Ambiental Baía Negra, em Ladário, MS, onde foram estabelecidos dois transectos de 100 m, um com serapilheira e outro sem serapilheira. Em cada transecto foram distribuídas dez iscas proteicas, espaçadas a cada 10 m, registrando-se o tempo até o primeiro contato com o recurso, com limite máximo de 30 minutos. A probabilidade de encontro foi analisada por meio de modelo linear generalizado com distribuição binomial, enquanto o tempo até o encontro foi comparado entre habitats utilizando o teste *t* de Welch. Também foi avaliada a composição das espécies pioneiras. Foram registradas oito morfoespécies e uma espécie identificada, com distribuição semelhante entre os habitats. Os resultados indicaram ausência de efeito significativo da serapilheira sobre a probabilidade e o tempo de descoberta das iscas, bem como sobre a composição das espécies que chegaram primeiro aos recursos. Esses achados sugerem que, nas condições avaliadas, a estrutura do micro-habitat não atuou como filtro determinante do forrageamento, possivelmente refletindo limites do delineamento amostral e a elevada plasticidade comportamental das espécies registradas.

Palavras-chave: Serapilheira. Micro-habitat. Descoberta de recursos. Comportamento de forrageamento. Ecologia de insetos.

Abstract: Habitat structure is often regarded as a determining factor in ant foraging behavior, mainly by altering substrate physical complexity and soil microclimate. However, this effect may be attenuated in systems dominated by generalist species capable of adjusting their resource-exploration strategies. In this context, this study evaluated whether the presence of leaf litter influences the probability and time of bait discovery by ants in a natural environment of the southern Pantanal region, Brazil. The research was conducted in the Baía Negra Environmental Protection Area, in Ladário, Mato Grosso do Sul, where two 100 m transects were established: one with leaf litter and another without leaf litter. In each transect, ten protein-based baits were distributed at 10 m intervals, and the time until the first contact with the resource was recorded, with a maximum observation period of 30 minutes. The probability of bait discovery was analyzed using a generalized linear model with binomial distribution, whereas the time to discovery was compared between habitats using Welch's *t* test. The composition of pioneer species was also evaluated. Eight morphospecies and one identified species were recorded, with similar distribution between habitats. The results indicated no significant effect of leaf litter on the probability and time of bait discovery, as well as on the composition of species that first reached the resources. These findings suggest that, under the evaluated conditions, microhabitat structure did not act as a determining filter of ant foraging, possibly reflecting limitations of the sampling design and the high behavioral plasticity of the recorded species.

Keywords: Leaf litter. Microhabitat. Resource discovery. Foraging behavior. Insect ecology.

1 INTRODUÇÃO

As formigas constituem um dos grupos de insetos mais amplamente estudados pela ciência, tanto pela elevada diversidade quanto pela complexidade de sua organização social (Hölldobler; Wilson, 1990; Cantarelli *et al.*, 2015). Em ecossistemas terrestres, especialmente em ambientes

florestais, esses organismos desempenham funções ecológicas centrais, participando ativamente da ciclagem de nutrientes, dispersão de sementes e regulação de populações de outros invertebrados (Fittkau; Klinge, 1973; Hölldobler; Wilson, 1990). O sucesso dessas funções está diretamente relacionado ao comportamento de forrageamento, que emerge da interação entre características intrínsecas das colônias e condições ambientais locais (Traniello, 1989; Sampaio *et al.*, 2023).

Apesar do amplo reconhecimento da eficiência do forrageamento em formigas, permanece em debate até que ponto a estrutura física do habitat atua como um filtro ecológico efetivo sobre esse comportamento. A elevada plasticidade comportamental, aliada à comunicação química e à organização coletiva, sugere uma capacidade de compensação frente a obstáculos ambientais. No entanto, estudos indicam que variações na complexidade do micro-habitat podem interferir nos padrões de deslocamento, exploração espacial e acesso a recursos, especialmente em escalas reduzidas (Pearce-Duvet *et al.*, 2011; Ossola *et al.*, 2015 apud AntWiki). Assim, persiste uma tensão entre modelos que enfatizam a autonomia comportamental das formigas e aqueles que apontam a importância da estrutura ambiental como mediadora do forrageamento.

Entre os elementos estruturais do ambiente, a serapilheira ocupa posição ambígua. Ao mesmo tempo em que promove heterogeneidade espacial e estabilidade microclimática, podendo favorecer a atividade de invertebrados do solo, também representa uma barreira física potencial, capaz de dificultar a locomoção e a propagação de sinais químicos (Queiroz; Ribas; França, 2013; Gomes *et al.*, 2013; Santos; Silva; Mendonça Santos, 2022). Dessa forma, seus efeitos sobre o forrageamento de formigas não são unidirecionais, podendo variar conforme o contexto ambiental, o perfil funcional das espécies e a escala de análise adotada.

Diante desse cenário, o presente estudo investigou se a presença de serapilheira influencia o tempo necessário para que formigas localizem uma nova fonte de alimento em um fragmento natural do Pantanal. Parte-se da hipótese de que ambientes com maior acúmulo de serapilheira apresentariam maior tempo de descoberta dos recursos, em função do aumento da complexidade física do substrato. Alternativamente, considera-se que a organização social e a plasticidade comportamental das formigas possam atenuar ou neutralizar esse efeito. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a influência da estrutura do micro-habitat, representada pela presença ou ausência de serapilheira, sobre o tempo de descoberta de recursos alimentares por formigas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

A seguinte pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem quantitativa, de natureza empírica e observacional, com delineamento adotado caracteriza-se como comparativo e

simplificado, priorizando a padronização do esforço amostral em detrimento da complexidade espacial e temporal. Tal escolha foi deliberada e visa permitir a replicabilidade do método, ainda que implique limitações quanto à abrangência inferencial dos resultados (Gil, 2002). O objetivo central foi avaliar a influência da estrutura do habitat sobre a eficiência de forrageamento de formigas, utilizando como variável-resposta o tempo e a probabilidade de descoberta de recursos alimentares.

O estudo foi conduzido em ambiente natural, envolvendo a comparação entre dois micro-habitats contrastantes quanto à presença de serapilheira. O sujeito da pesquisa foi constituído por formigas (Hymenoptera: Formicidae), pertencentes a diferentes espécies que ocorrem naturalmente na área amostrada. Como instrumentos de coleta foram utilizados iscas alimentares padronizadas, cronômetro digital, pinça entomológica e recipientes apropriados para acondicionamento dos espécimes.

Os procedimentos metodológicos envolveram a instalação de iscas ao longo de transectos lineares, o registro do tempo até o primeiro contato das formigas com o recurso e a coleta dos indivíduos pioneiros. As técnicas empregadas permitiram avaliar tanto a eficiência de descoberta quanto a composição das espécies que primeiro exploraram os recursos, em um contexto ambiental real, característico do Pantanal Sul-Mato-Grossense. A realização das amostragens em um único dia e o número restrito de pontos amostrais configuram um esforço limitado, o que pode reduzir a capacidade do estudo em capturar variações temporais e espaciais mais sutis. Assim, os dados obtidos representam um recorte pontual do sistema estudado.

2.2 Área de Estudo e Público-alvo

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Baía Negra, localizada no município de Ladário, Mato Grosso do Sul, Brasil, inserida no bioma Pantanal. A região é caracterizada por elevada heterogeneidade ambiental, com áreas sazonalmente inundáveis e variações na cobertura vegetal e no acúmulo de serapilheira, fatores que influenciam diretamente a atividade de invertebrados do solo (Manu, 2022). Foram selecionados dois ambientes contrastantes quanto à estrutura do substrato: um com presença natural de serapilheira e outro com solo exposto.

2.3 Metodologia da pesquisa

Foram estabelecidos dois transectos lineares de 100 metros de comprimento, distanciados aproximadamente 20 metros entre si, representando os dois tipos de micro-habitat analisados: com serapilheira e sem serapilheira. Em cada transecto foram dispostas dez iscas alimentares, totalizando 20 pontos amostrais. As iscas foram espaçadas cerca de 10 metros entre si e consistiram em uma

mistura de sardinha com óleo, colocada diretamente sobre o solo, utilizando papel higiênico como suporte (Figura 1). O uso de iscas atrativas foi adotado com o objetivo de maximizar a detecção dos organismos-alvo. No entanto, reconhece-se que essa estratégia pode introduzir viés comportamental, ao favorecer espécies mais generalistas ou dominantes.

Figura 1 - Área amostrada. **A:** Parte da área limpa (Sem serrapilheira). **B:** Parte da área com serrapilheira. **C:** Primeiras formigas a chegarem na isca.



Fonte: Autores, 2025.

Após a instalação de cada isca, foi cronometrado o tempo necessário até o primeiro contato de uma formiga com o recurso alimentar, utilizando cronômetro digital. No momento em que a primeira formiga atingia a isca, o indivíduo era coletado com pinça entomológica e acondicionado em microtubo do tipo *Eppendorf* contendo álcool etílico a 70%. Caso nenhuma formiga fosse observada no intervalo máximo de 30 minutos, o ponto amostral era registrado como não descoberto.

As coletas foram realizadas no período da manhã, entre 8h00 e 12h00. Posteriormente, os indivíduos coletados foram identificados até o menor nível taxonômico possível, utilizando chaves especializadas para formigas do Brasil (Feitosa *et al.*, 2024).

A probabilidade de encontro das iscas foi analisada por meio de Modelo Linear Generalizado (GLM), com distribuição binomial e função de ligação logit, considerando o tipo de habitat como variável preditora. O tempo até o encontro foi comparado entre os habitats utilizando o teste *t* de Welch, adotado por não assumir homogeneidade de variâncias. Para verificar diferenças na composição das espécies pioneiras entre os habitats, foi aplicado o teste exato de Fisher. Todas

as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R, adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Ressalta-se que embora os testes estatísticos sejam adequados, o esforço amostral reduzido limita o poder do estudo, de modo que resultados não significativos devem ser interpretados com cautela.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registradas oito morfoespécies e uma espécie identificada de formigas ao longo do estudo. Dentre essas, três ocorreram exclusivamente no habitat sem serapilheira, duas foram registradas apenas no habitat com serapilheira, e quatro estiveram presentes em ambos os ambientes (Tabela 1). Esse padrão indica uma composição parcialmente compartilhada entre os habitats, mas também revela a ocorrência de espécies restritas a cada tipo de ambiente, ainda que em baixa frequência. Embora tais exclusividades não tenham sido suficientes para caracterizar uma diferenciação estatística robusta entre os habitats, elas sugerem a existência de respostas distintas ao microambiente, possivelmente associadas a preferências de substrato, estratégias de forrageamento ou tolerâncias microclimáticas específicas, que não foram plenamente capturadas pelo delineamento adotado.

Tabela 1 – Distribuição das espécies e morfoespécies de formigas coletadas nos habitats sem serapilheira (limpo) e com serapilheira, na APA Baía Negra, Ladário, MS. (Em destaque as espécies/morfoespécies que ocorreram em ambos os habitats).

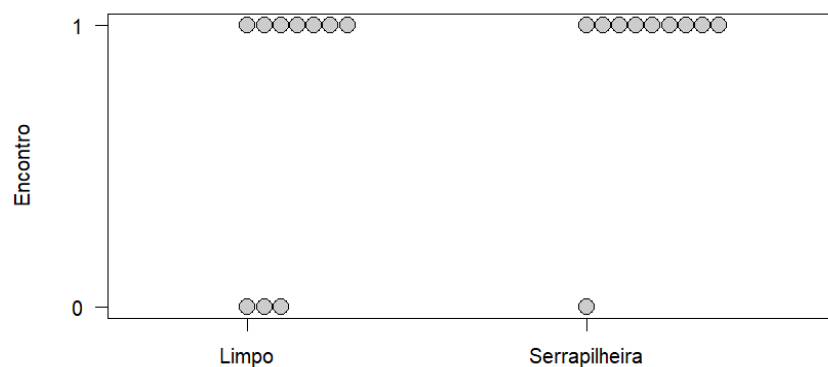
Espécie/Morfoespécie	Limpo	Serrapilheira
<i>Solenopsis</i> sp.1	X	
<i>Camponotus</i> sp.	X	
<i>Solenopsis</i> sp.	X	
<i>Ectatomma</i> sp.	X	X
<i>Pheidole</i> sp.	X	x
<i>Camponotus crassus</i>	X	x
<i>Pheidole</i> sp.1	X	x
Formicidae		x
<i>Crematogaster</i> sp.		x
Total	7	6

Fonte: Autores, 2025.

A probabilidade de encontro das iscas por formigas foi semelhante entre os dois tipos de habitat avaliados (Figura 2). A distribuição dos registros de encontro (0 = não encontrado; 1 =

encontrado) evidenciou alta frequência de descobertas em ambos os ambientes, com poucos pontos amostrais, sem ocorrência de encontro, independentemente da presença de serapilheira. A regressão logística ajustada não revelou efeito significativo do tipo de habitat sobre a probabilidade de encontro das iscas ($\beta = 1,35 \pm 1,26$; $z = 1,07$; $p = 0,284$), indicando que, nas condições avaliadas, a estrutura do habitat não influenciou de forma detectável a chance de localização do recurso alimentar. No entanto, a elevada taxa de encontros em ambos os ambientes também sugere que o método empregado, baseado em iscas altamente atrativas, pode ter reduzido o contraste funcional entre os habitats, favorecendo espécies com alta capacidade exploratória e potencialmente mascarando efeitos mais sutis da estrutura do solo.

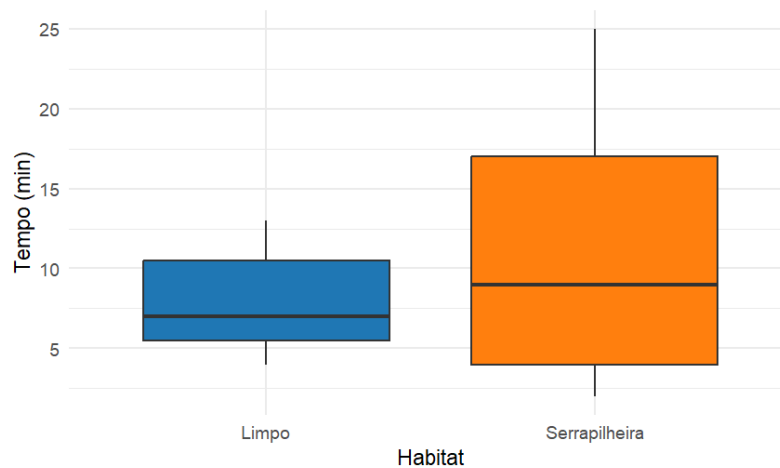
Figura 2 – Distribuição da ocorrência de encontro das iscas por formigas nos habitats sem serapilheira (limpo) e com serapilheira. Cada ponto representa um ponto amostral, indicando ausência (0) ou presença (1) de encontro.



Fonte: Autores, 2025.

O tempo até o encontro das iscas por formigas também não diferiu significativamente entre os habitats (Figura 3). Embora o ambiente com serapilheira tenha apresentado maior variabilidade e valores medianos ligeiramente superiores, a comparação por meio do teste *t* de Welch não indicou diferença estatisticamente significativa ($t = -1,10$; $gl = 10,90$; $p = 0,296$). O tempo médio de encontro no habitat sem serapilheira foi de 8 min (oito minutos), enquanto no habitat com serapilheira foi de 11 min 44 s (onze minutos e quarenta e quatro segundos), com ampla sobreposição dos intervalos interquartílicos. Ainda que estatisticamente não significativas, essas assimetrias sugerem uma tendência de maior heterogeneidade temporal na descoberta dos recursos em ambientes com maior complexidade estrutural, padrão que pode refletir diferenças na locomoção, na difusão de pistas químicas ou na organização espacial das colônias.

Figura 3 – Distribuição do tempo (em minutos) até o encontro das iscas por formigas nos habitats sem serapilheira (limpo) e com serapilheira. Os boxplots representam a mediana, os quartis e a amplitude dos dados.



Fonte: Autores, 2025.

De forma geral, os resultados indicaram que a presença de serapilheira não influenciou significativamente a probabilidade nem o tempo de descoberta das iscas, não corroborando a hipótese inicialmente proposta. Essa ausência de efeito tem sido frequentemente interpretada, em estudos semelhantes, à luz do predomínio de espécies generalistas, caracterizadas por elevada plasticidade comportamental e ampla tolerância ambiental (Hölldobler; Wilson, 1990; Andersen, 1995). No entanto, embora o generalismo funcional represente uma explicação plausível, sua aplicação automática pode ocultar nuances ecológicas importantes. O fato de algumas espécies terem ocorrido exclusivamente em um dos habitats sugere que nem todas respondem de forma idêntica à estrutura do micro-habitat, ainda que tais respostas não tenham se traduzido em diferenças estatísticas detectáveis.

A ausência de diferenças significativas, portanto, pode refletir menos uma inexistência de efeitos ecológicos e mais uma limitação inerente à escala espacial, temporal e metodológica do experimento. O uso de iscas proteicas tende a favorecer espécies oportunistas e dominantes, capazes de localizar rapidamente recursos concentrados, reduzindo o papel da serapilheira como barreira física ou filtro ambiental. Além disso, o registro apenas do primeiro indivíduo a alcançar a isca privilegia a fase inicial do forrageamento, não contemplando processos posteriores de recrutamento, monopolização ou competição interespecífica, nos quais a estrutura do habitat poderia exercer influência mais expressiva (Traniello, 1989; Baccaro *et al.*, 2015).

Outro fator relevante refere-se à escala temporal do estudo. As observações foram realizadas em um único dia, em função do caráter rápido e exploratório do projeto, o que limita a

incorporação de variações microclimáticas diárias e sazonais. A atividade de forrageamento de formigas é fortemente modulada por temperatura, umidade e luminosidade, fatores que podem alterar drasticamente padrões de busca e descoberta de recursos (Cerdá *et al.*, 1998; Kaspari *et al.*, 2000). Assim, diferenças entre habitats podem emergir apenas sob determinadas condições ambientais ou ao longo de períodos mais prolongados de amostragem.

Nesse sentido, o resultado negativo observado não deve ser interpretado como ausência de processos ecológicos, mas como um indicativo de que, nas condições específicas avaliadas, tais processos não foram suficientemente fortes para superar o ruído imposto pelo método e pela escala amostral. Mais do que revelar um sistema ecologicamente homogêneo, o estudo evidencia os limites entre o que o comportamento das formigas expressa e o que o experimento é capaz de detectar. Assim, os dados sugerem que compreender a influência da serapilheira sobre o forrageamento exige abordagens que integrem diferentes tipos de recursos, maior replicação temporal e análises que incorporem não apenas o momento da descoberta, mas também a dinâmica subsequente de exploração e interação entre espécies.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo indicou que, nas condições avaliadas, a presença de serapilheira não exerceu influência significativa sobre a probabilidade nem sobre o tempo de descoberta de recursos alimentares por formigas forrageadoras de superfície na APA Baía Negra, no Pantanal Sul-Mato-Grossense. Dessa forma, a estrutura do micro-habitat, representada pela presença ou ausência de serapilheira, não se configurou como um fator determinante para a eficiência inicial do forrageamento, não corroborando a hipótese inicialmente proposta.

Embora os resultados não tenham evidenciado efeitos diretos da serapilheira, eles revelam limites importantes da escala espacial, temporal e metodológica adotada, sugerindo que a ausência de diferença pode refletir tanto a elevada plasticidade comportamental das assembleias registradas quanto restrições do próprio delineamento amostral. Assim, o estudo contribui ao evidenciar que respostas negativas também informam processos ecológicos, indicando a necessidade de investigações futuras que incorporem maior variação temporal, diferentes tipos de recursos e níveis mais amplos de complexidade ambiental para aprofundar a compreensão dos mecanismos que modulam o forrageamento de formigas em ambientes naturais.

Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), bem como à coordenação

da disciplina Entomologia de Campo, vinculada a esse programa, pelo apoio institucional à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, A. N. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. **Journal of Biogeography**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 15–29, 1995.

BACCARO, F. B. *et al.* **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2015.

CANTARELLI, E. B. *et al.* Diversidade de formigas (Hymenoptera: formicidae) da serrapilheira em diferentes sistemas de uso do solo. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 607–616, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509819612>.

CERDÁ, X.; RETANA, J.; CROS, S. Critical thermal limits in Mediterranean ant species. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 12, p. 279–286, 1998.

FITTKAU, E. J.; KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest Ecosystem. **Biotropica**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 2-14, 1973.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. Cambridge: Harvard University Press, 1990.

KASPARI, M.; ALONSO, L.; O'DONNELL, S. Energy, density, and constraints to species richness: ant assemblages along a productivity gradient. **The American Naturalist**, [S. l.], v. 155, p. 280–293, 2000.

MANU, M.; BĂNCILĂ, R. I.; MOUNTFORD, O. J.; ONETE, M. Comunidades de invertebrados do solo como indicador do estado de conservação ecológica de algumas pastagens fertilizadas da Romênia. **Diversity**, [S. l.], v. 14, n. 12, e1031, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/d14121031>.

OSSOLA, A. *et al.* Urban habitat complexity affects species richness but not environmental filtering of morphologically-diverse ants. **PeerJ**, [S. l.], v. 3, p. e1356, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.1356>.

PEARCE-DUVET, J. M. C. *et al.* Fast food in ant communities: how competing species find resources. **Oecologia**, [S. l.], v. 167, p. 761–771, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1982-4>.

QUEIROZ, A. C. M. de; RIBAS, C. R.; FRANÇA, F. M. Microhabitat characteristics that regulate ant richness patterns: the importance of leaf litter for epigeic ants. **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 60, n. 4, p. 367–373, 2013.

SAMPAIO, R. C. *et al.* Effects of vegetation structure on ant diversity in different seasonal periods in impacted fragments of Atlantic Forest. **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 70, n. 2, p. e7949, 2023.

SANTOS, J. T. *et al.* The role of vegetation structure and abiotic factors affecting the temporal dynamics of ant foraging. **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 69, n. 2, 2022.

SANTOS, R. de J. *et al.* Efeitos da conversão de habitat em grupos funcionais de formigas: uma revisão global. **Sociobiology**, Feira de Santana, v. 68, n. 2, p. e6071, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v68i2.6071>

SILVA, R. R.; BRANDÃO, C. R. F.; SILVESTRE, R. Formigas como bioindicadoras em ambientes tropicais: conceitos, métodos e perspectivas. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 112–128, 2012.

TRANIELLO, J. F. A. Foraging strategies of ants. **Annual Review of Entomology**, [S. l.], v. 34, p. 191–210, 1989.




CAPÍTULO 7

EFEITO DE EXTRATOS BOTÂNICOS NA DINÂMICA POPULACIONAL DE *Plutella xylostella* (L. 1758)

EFFECT OF BOTANICAL EXTRACTS ON THE POPULATION DYNAMICS OF *Plutella xylostella* (L. 1758)

Jussara Gonçalves Fonseca   

Mestre em Biologia Geral/Bioprospecção, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Elivelto da Silva Cavalcante   


Mestre em Entomologia e Conservação da Biodiversidade pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

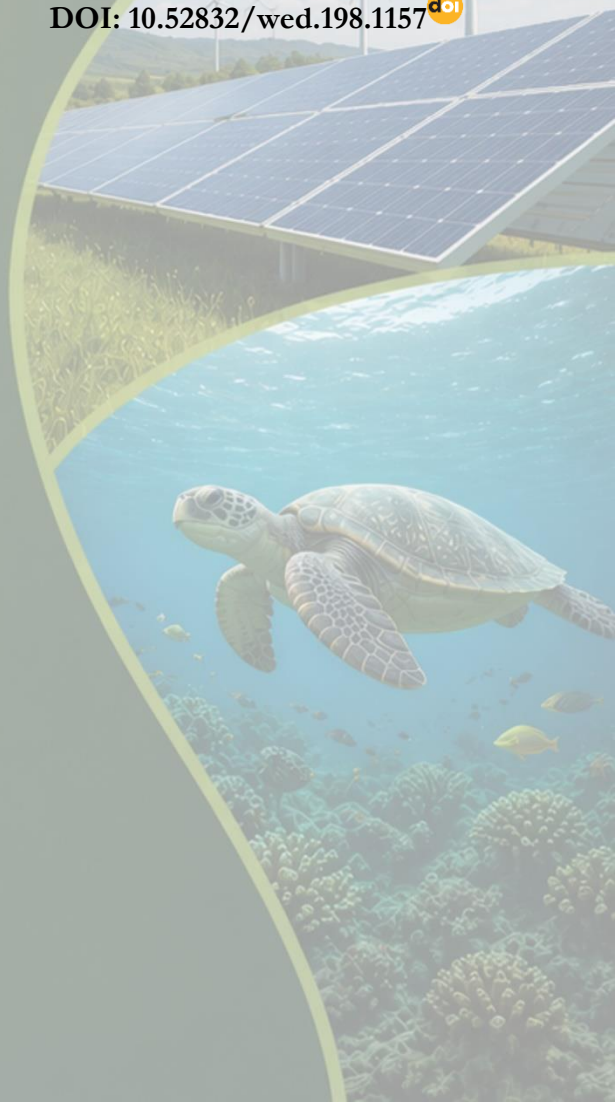
Dilma Marques dos Reis   

Mestre em Entomologia e Conservação da Biodiversidade pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

Rosilda Mara Mussury Franco Silva   

Doutora em Ciências Biológicas (Botânica) pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), Botucatu-SP, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1157 



Resumo: A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), é uma das pragas mais prejudiciais para as culturas de Brássicas em todo o mundo, e seu controle tem sido um desafio devido ao desenvolvimento de resistência a inseticidas sintéticos. Esta revisão bibliográfica teve como objetivo analisar o papel dos extratos botânicos na dinâmica populacional de *P. xylostella*, como uma alternativa sustentável e integrativa de manejo. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa da literatura, com busca nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Web of Science, utilizando os descritores "*Plutella xylostella*", "traça-das-crucíferas", "extratos botânicos", "plantas inseticidas", "controle biológico", "dinâmica populacional", e seus correspondentes em inglês. Foram incluídos artigos científicos, teses e dissertações publicados preferencialmente nos últimos dez anos (2015-2025), sem excluir estudos clássicos fundamentais para o tema. Os resultados demonstram que uma ampla variedade de plantas, como as dos gêneros *Azadirachta*, *Melia*, *Trichilia* e *Serjania*, que possuem compostos com atividade inseticida contra traça-das-crucíferas. Esses extratos podem atuar de diversas formas, causando mortalidade larval, repelência, deterrência alimentar, ovideterrência e efeitos subletais que afetam o desenvolvimento e a reprodução do inseto-praga. Além disso, estudos recentes evidenciam a seletividade de alguns extratos a inimigos naturais, permitindo sua integração com o controle biológico. Conclui-se que os extratos botânicos são uma ferramenta promissora para o manejo integrado de *P. xylostella*, contribuindo para a redução do uso de pesticidas sintéticos e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Palavras-chave: Controle biológico. Manejo integrado de pragas. Plantas inseticidas.

Abstract: The diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), is one of the most harmful pests of brassica crops worldwide, and its control has been a challenge due to the development of resistance to synthetic insecticides. This literature review aimed to analyze the role of botanical extracts in the population dynamics of *P. xylostella* as a sustainable and integrative management alternative. To this end, an integrative literature review was carried out by searching the SciELO, Google Scholar, Scopus, and Web of Science databases, using the descriptors "*Plutella xylostella*," "diamondback moth," "botanical extracts," "insecticidal plants," "biological control," and "population dynamics." Scientific articles, theses, and dissertations published preferably in the last ten years (2015–2025) were included, without excluding classical studies fundamental to the topic. The results demonstrate that a wide variety of plants, such as those from the genera *Azadirachta*, *Melia*, *Trichilia*, and *Serjania*, possess compounds with insecticidal activity against the diamondback moth. These extracts can act in several ways, causing larval mortality, repellency, feeding deterrence, oviposition deterrence, and sublethal effects that affect the pest's development and reproduction. In addition, recent studies highlight the selectivity of some extracts towards natural enemies, allowing their integration with biological control. It is concluded that botanical extracts are a promising tool for the integrated management of *P. xylostella*, contributing to the reduction of synthetic pesticide use and to the sustainability of agricultural systems.

Keywords: Biological control. Integrated pest management. Insecticidal plants.

1 INTRODUÇÃO

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L. 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), destaca-se como uma das pragas de maior importância econômica em culturas de brássicas em todo o mundo (Araya et al., 2023). Sua alta capacidade de adaptação, ciclo de vida curto e elevado potencial reprodutivo

resultam em infestações severas que podem levar a perdas de até 100% na produção de hortaliças como repolho, couve-flor, brócolis e canola (CABI Compendium, 2022).

O controle dessa praga tem sido, historicamente, dependente do uso intensivo de inseticidas químicos sintéticos (Zhao *et al.*, 2017). No entanto, essa estratégia apresenta diversas limitações, incluindo o desenvolvimento de populações de insetos resistentes, a eliminação de inimigos naturais, a contaminação ambiental e a presença de resíduos tóxicos nos alimentos, representando riscos à saúde humana e ao equilíbrio dos ecossistemas (Pu *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, intensifica-se a busca por alternativas mais sustentáveis e de menor impacto ambiental para o manejo de *P. xylostella*. Entre as estratégias promissoras, o uso de extratos botânicos tem ganhado destaque na comunidade científica. Plantas com potencial inseticida produzem uma ampla diversidade de metabólitos secundários capazes de atuar de diferentes formas sobre os insetos, como repelentes, deterrentes de alimentação, reguladores de crescimento, ovicidas e inseticidas (Isman; Grieneisen, 2019). Esses compostos, por sua natureza, geralmente são mais seletivos, biodegradáveis e apresentam menor risco de desenvolvimento de resistência em comparação aos inseticidas sintéticos (Pavela; Benelli, 2016).

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica acerca do papel de extratos botânicos na dinâmica populacional de *Plutella xylostella*. Serão abordados os principais grupos de plantas com atividade inseticida, os mecanismos de ação de seus compostos bioativos, os efeitos sobre a biologia e o comportamento da praga e a interação desses extratos com outros métodos de controle, como o controle biológico. A compreensão aprofundada desses aspectos é essencial para o desenvolvimento de estratégias de Manejo Integrado de Pragas (MIP) mais eficientes, resilientes e alinhadas aos princípios da agricultura sustentável.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica integrativa, conduzida a partir de uma busca sistemática por artigos científicos, livros e capítulos de livros nas principais bases de dados acadêmicas, como SciELO, Google Acadêmico, Scopus e Web of Science. A pesquisa foi realizada entre agosto e setembro de 2025, utilizando os seguintes descritores em português e inglês: "*Plutella xylostella*", "traça-das-crucíferas", "extratos botânicos", "plantas inseticidas", "controle biológico", "dinâmica populacional", "botanical extracts", "insecticidal plants", "biological control" e "population dynamics". Foram selecionados trabalhos publicados preferencialmente nos últimos dez anos, a fim de assegurar a atualidade das informações, contudo, estudos clássicos e de grande relevância para o tema também foram incluídos, para fornecer uma base conceitual sólida. A análise do material selecionado foi realizada de forma descritiva e crítica, buscando sintetizar as evidências

sobre as espécies de plantas com potencial inseticida, os métodos de extração e aplicação dos extratos, os efeitos sobre a biologia e o comportamento de *P. xylostella*, bem como sua interação com inimigos naturais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura científica reúne uma ampla gama de estudos que investigam o potencial de extratos botânicos no controle de *Plutella xylostella*. Esses estudos evidenciam que diversas espécies vegetais produzem compostos com atividade inseticida, capazes de afetar a biologia e o comportamento da praga por diferentes mecanismos.

Diversos trabalhos recentes confirmam essa diversidade de espécies com efeito inseticida sobre *P. xylostella*, como relatado por Silva *et al.* (2018), que observaram mortalidade significativa em bioensaios com extratos vegetais. Resultados semelhantes também foram encontrados em pesquisas de Zhang *et al.* (2019), demonstrando elevada eficácia de extratos de plantas como *Azadirachta indica*, *Trichilia pallida* e *Sapindus* spp.

O nim (*A. indica*) é, sem dúvida, a planta mais estudada e utilizada como inseticida botânico. Seu principal composto bioativo, a azadiractina, atua como um regulador de crescimento, inibindo a ecdise e causando deformidades e mortalidade (Mordue; Nisbet, 2018). Além disso, a azadiractina possui efeito antialimentar, levando as lagartas a interromperem a alimentação e morrerem por inanição (Campos *et al.*, 2016).

Estudos mais recentes também mostram que extratos de *Melia azedarach* (cinamomo), outra Meliaceae, reduzem significativamente a oviposição e a alimentação das lagartas de *P. xylostella* (Souza *et al.*, 2020).

A seletividade dos extratos botânicos aos inimigos naturais é um fator crucial para o sucesso do Manejo Integrado de Pragas. Nesse sentido, Faca *et al.* (2025) avaliaram a seletividade de extratos aquosos de *Serjania erecta* e *Serjania marginata* (Sapindaceae) sobre o endoparasitoide *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae), importante agente de controle biológico de *P. xylostella*. Os resultados demonstraram que, nas concentrações de 5% e 10%, os extratos não afetaram o parasitismo de *T. howardi*, indicando a compatibilidade de se utilizar esses extratos em conjunto com o controle biológico, sem prejudicar a ação dos inimigos naturais.

A dinâmica populacional de *P. xylostella* é complexa e influenciada por diversos fatores, como clima, disponibilidade de hospedeiros e presença de inimigos naturais. Os extratos botânicos podem atuar em diferentes pontos dessa dinâmica, não apenas causando a mortalidade larval, mas também afetando a reprodução, o desenvolvimento e o comportamento dos adultos (García *et al.*, 2021). Ao reduzir a oviposição, prolongar o ciclo de vida e diminuir a viabilidade das pupas (Lopes

et al., 2019), esses compostos contribuem para a redução do crescimento da população da praga, mantendo-a em níveis economicamente aceitáveis.

Assim, o uso de extratos botânicos no manejo de *P. xylostella* apresenta-se como uma alternativa promissora aos inseticidas sintéticos. Entretanto, é importante ressaltar que a eficácia desses extratos pode variar conforme a espécie, da parte da planta utilizada, o método de extração, a concentração do extrato e as condições ambientais. Desta forma, a pesquisa científica exerce papel fundamental tanto na identificação de novas espécies com potencial inseticida quanto na otimização dos métodos de extração e aplicação, além da avaliação da seletividade e dos efeitos subletais sobre a praga e seus inimigos naturais. A integração de extratos botânicos com outras táticas de controle, como o controle biológico, o uso de variedades resistentes e práticas culturais adequadas, é o caminho para um manejo mais sustentável e eficiente da traça-das-crucíferas.

4 CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica evidencia o grande potencial dos extratos botânicos como ferramenta valiosa para o manejo da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*. A diversidade de plantas com atividade inseticida, os múltiplos mecanismos de ação de seus compostos bioativos e a seletividade a inimigos naturais demonstram que os extratos botânicos podem desempenhar papel fundamental na redução da dependência de inseticidas sintéticos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e segura.

Os estudos analisados demonstram que os extratos botânicos podem afetar a dinâmica populacional de *P. xylostella* de diferentes formas, desde a mortalidade larval até efeitos subletais que comprometem o desenvolvimento e a reprodução da praga. A integração desses extratos com outras táticas de controle, como o controle biológico, é uma estratégia promissora para o Manejo Integrado de Pragas (MIP), cujo objetivo é manter as populações de insetos-praga em níveis que não causem danos econômicos e com o mínimo de impacto ambiental.

É fundamental que a pesquisa científica avance na prospecção de novas espécies vegetais com potencial inseticida, na elucidação dos mecanismos de ação de seus compostos, na otimização dos métodos de extração e aplicação, bem como na avaliação da segurança desses produtos para o homem e o meio ambiente. Além disso, a transferência de tecnologia e a disseminação do conhecimento gerado pela pesquisa aos agricultores são essenciais para que os extratos botânicos se consolidem como alternativa viável no campo, contribuindo para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes, produtivos e sustentáveis.

Agradecimentos e Financiamento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), e aos recursos concedidos por meio da chamada nº 83/029.649/2024.

REFERÊNCIAS

- ARAYA, A. *et al.* Field efficacy of plant extracts on larval populations of *Plutella xylostella* and *Helicoverpa armigera* and their impact on cabbage infestation. **Open Agriculture Journal**, v. 17, p. e187433152307240, 2023. Disponível em: <https://openagriculturejournal.com/VOLUME/17/ELOCATOR/e187433152307240/FULLTEXT/>. Acesso em: 11 set. 2025.
- CABI Compendium. *Plutella xylostella* (diamondback moth). CABI Digital Library, 2022. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.42318>. Acesso em: 11 set. 2025.
- CAMPOS, M. R.; *et al.* Botanical insecticides for sustainable agriculture: azadirachtin as a model. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 12, p. 1–12, 2016. DOI: 10.1007/s13593-015-0344-1.
- FACA, E. C. *et al.* Seletividade de extratos aquosos de *Serjania* spp. em *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae), um endoparasitoide de *Plutella xylostella* (L.). **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, e284440, 2025. DOI: 10.1590/1519-6984.284440.
- GARCÍA, M.; *et al.* Sublethal effects of botanical extracts on reproduction and behavior of *Plutella xylostella*. **Pest Management Science**, v. 77, n. 9, p. 4210–4219, 2021. DOI: 10.1002/ps.6487.
- ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 6, p. 569–572, 2019. DOI: 10.1016/j.tplants.2019.03.006.
- LOPES, J. R. *et al.* Plant-derived compounds affecting pupal viability of *Plutella xylostella*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 182, p. 109421, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.109421.
- MORDUE, A. J.; NISBET, A. J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 1, p. 401–414, 2018. DOI: 10.1590/0001-3765201820170575.
- PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000–1007, 2016. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.10.005.
- PU, X.; LIU, Y.; ZHANG, Y. *et al.* Insecticide resistance management strategies for *Plutella xylostella*: achievements and prospects. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 2, p. 420–429, 2020. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62721-5.

SILVA, R. M. *et al.* Efeito de extratos vegetais no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 62, n. 3, p. 211–218, 2018. DOI: 10.1016/j.rbe.2018.02.004.

SOUZA, M. F.; *et al.* Insecticidal activity of *Melia azedarach* extracts on diamondback moth (*Plutella xylostella*). **Journal of Applied Entomology**, v. 144, n. 6, p. 487–496, 2020. DOI: 10.1111/jen.12757.

ZHANG, S. *et al.* Botanical insecticides against *Plutella xylostella*: efficacy and mechanisms. **Crop Protection**, v. 120, p. 7–15, 2019. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.02.018.

ZHAO, J. Z.; LIU, X.; SHI, Y. *et al.* Monitoring of diamondback moth (*Plutella xylostella*) resistance to insecticides: a global perspective. **Pest Management Science**, v. 73, n. 3, p. 485–495, 2017. DOI: 10.1002/ps.4459.

CAPÍTULO 8

SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO: POTENCIAIS DO MANDACARU (*CEREUS JAMACARU* DC.) E PALMA FORRAGEIRA [*OPUNTIA FÍCUS-INDICA* (L.) P. MILL E *NOPALEA COCHENILLIFERA* (L.) SALM DYCK] PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL

SUSTAINABILITY IN THE SEMIARID REGION: POTENTIALS OF MANDACARU (*CEREUS JAMACARU* DC.) AND FORAGE CACTUS [*OPUNTIA FÍCUS-INDICA* (L.) P. MILL AND *NOPALEA COCHENILLIFERA* (L.) SALM DYCK] FOR REGIONAL DEVELOPMENT

Aliomar Pacheco de Souza Junior   


Mestre em Bioquímica e Biologia Molecular e Doutorando em Bioquímica e Biologia Molecular na Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Barreiras -BA, Brasil

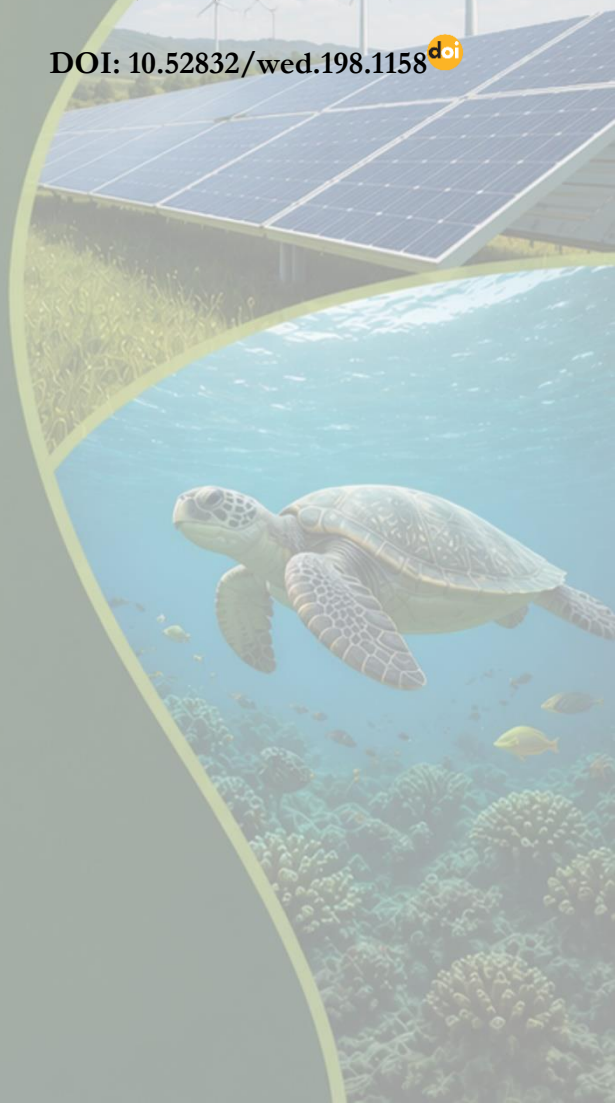
Eduardo Fernandes Barbosa   

Doutor em Biologia Animal pela Universidade de Brasília (UNB), Docente do Centro das Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Barreiras -BA, Brasil

Rafael da Conceição Simões   

Doutor em Bioquímica pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Docente do Centro das Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Barreiras-BA, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1158 



Resumo: O mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) e as palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* (L.) P. Mill e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dick são espécies essenciais para o Semiárido brasileiro devido à elevada resistência hídrica e aos importantes serviços ecossistêmicos que desempenham. O objetivo deste estudo foi sintetizar, por meio de uma revisão sistemática e integrativa, o estado atual do conhecimento sobre os potenciais ecológicos, produtivos e biotecnológicos dessas cactáceas e sua relevância para o desenvolvimento regional sustentável. A metodologia envolveu buscas estruturadas nas bases Scopus, Web of Science, Science Direct, SciELO e Google Scholar, além de documentos técnicos de instituições como Embrapa e Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). Após critérios de seleção, 47 referências foram incluídas. Os resultados revelam usos amplos e diversificados, abrangendo aplicações forrageiras, alimentares, medicinais, ornamentais, agrônomicas, industriais, biotecnológicas, impulsionadas por ecompostos como mucilagens, fibras, antioxidantes, peptídeos cíclicos e pigmentos naturais. Conclui-se que a expansão de pesquisas, tecnologias de processamento e práticas sustentáveis é fundamental para transformar o potencial dessas cactáceas em benefícios concretos para a segurança alimentar, bioeconomia e desenvolvimento socioambiental do Semiárido.

Palavras-chave: Mandacaru. Palma forrageira. Cactáceas. Sustentabilidade. Desenvolvimento regional.

Abstract: Mandacaru (*Cereus jamacaru*) and forage cactus (*Opuntia ficus-indica* and *Nopalea cochenillifera*) are essential species for the Brazilian semiarid region due to their high water-use efficiency and the important ecosystem services they provide. The aim of this study was to synthesize, through a systematic and integrative literature review, the current state of knowledge regarding the ecological, productive, and biotechnological potentials of these cacti and their relevance for sustainable regional development. The methodology involved structured searches in the Scopus, Web of Science, Science Direct, SciELO, and Google Scholar databases, as well as technical documents from institutions such as Embrapa and the Ministry of the Environment (MMA). After applying selection criteria, 47 references were included. The results reveal broad and diversified uses, encompassing forage, food, medicinal, ornamental, agronomic, industrial, and biotechnological applications, driven by eco-compounds such as mucilages, fibers, antioxidants, cyclic peptides, and natural pigments. It is concluded that expanding research efforts, processing technologies, and sustainable practices is essential to transform the potential of these cacti into concrete benefits for food security, the bioeconomy, and socioenvironmental development in the semiarid region.

Keywords: Mandacaru. Forage cactus. Cacti. Sustainability. Regional development.

1 INTRODUÇÃO

As espécies de palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., 1768 (ordem *Caryophyllales*, família *Cactaceae*) e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck, 1850 (ordem *Caryophyllales*, família *Cactaceae*), juntamente com o mandacaru *Cereus jamacaru* DC., 1828 (ordem *Caryophyllales*, família *Cactaceae*), destacam-se pela elevada capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas do semiárido nordestino. Enquanto o mandacaru é uma espécie nativa da Caatinga, a palma forrageira tem origem nas regiões áridas da América Central, embora atualmente apresente ampla distribuição geográfica, incluindo o bioma Caatinga brasileiro. No semiárido baiano, especificamente no bioma Caatinga, essas espécies são de ocorrência frequente (Silva, 2015).

Estas cactáceas são consideradas relevantes para a conservação da biodiversidade presente na Caatinga e exercem funções ecológicas essenciais, atuando como fonte hídrica para a fauna, contribuindo para a conservação do solo e auxiliando na fertilização natural do ambiente por meio da ciclagem de nutrientes (Neto, 2008; Montenegro *et al.*, 2020). Além disso, são importantes para o desenvolvimento sustentável desse bioma; entretanto, esses vegetais permanecem sujeitos a diversas pressões e situações problemáticas. A extração inadequada, a redução de áreas nativas para expansão agropecuária e a escassez de estudos bioquímicos que investiguem suas potencialidades representam desafios significativos para a conservação e o uso racional dessas espécies (Iêda *et al.*, 2004). No saber popular, tanto a palma quanto o mandacaru são empregados para múltiplos propósitos, incluindo uso medicinal, alimentação humana, fins ornamentais e como forragem animal, especialmente durante os longos períodos de estiagem.

O fortalecimento da agricultura familiar e o desenvolvimento socioeconômico do semiárido estão diretamente associados à valorização dos recursos naturais locais. Embora a palma e o mandacaru já apresentem reconhecida importância, suas propriedades ainda podem ser mais exploradas para elevar seu valor agregado. Ambas as espécies despontam como potenciais fornecedoras de ecompostos — como mucilagens, enzimas, biossurfactantes e pigmentos — com aplicações promissoras nas indústrias farmacêutica, agrícola e ambiental (Nunes, 2011; Macêdo, 2020).

Diante desse contexto, este capítulo tem como objetivo reunir, analisar e discutir de forma abrangente o conhecimento disponível sobre o mandacaru e a palma forrageira, integrando seus usos tradicionais — medicinal, alimentar, forrageiro e ornamental — às suas potencialidades emergentes nas áreas agrônômica, biotecnológica, industrial e farmacêutica. Busca-se apresentar o estado da arte sobre essas espécies, evidenciando seus atributos ecológicos, socioeconômicos e bioquímicos, bem como apontar oportunidades de inovação que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável do semiárido. Assim, esta revisão pretende oferecer uma base sólida para pesquisas futuras e subsidiar estratégias que valorizem esses recursos naturais como elementos-chave para o fortalecimento regional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste capítulo baseou-se em uma revisão bibliográfica sistemática e integrativa, realizada nas bases Scopus, Web of Science, Science Direct, SciELO, Google Scholar e em documentos técnicos de instituições como Embrapa e Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). A busca utilizou descritores em português e inglês relacionados às cactáceas, sustentabilidade e desenvolvimento regional, combinados por operadores booleanos “and” e “or”.

Foram selecionadas, ao final, 47 referências, abrangendo artigos científicos, dissertações, livros e documentos técnicos.

3 DIVERSIDADE, ASPECTOS MORFOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS E ECOLOGIA DO MANDACARU E PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO

Entre as espécies da flora do Semiárido brasileiro, a família Cactaceae destaca-se como a segunda com maior número de espécies endêmicas (Giulietti, 2006). A vegetação xerófila dessa região apresenta 85 espécies de cactáceas nativas, distribuídas em 20 gêneros, entre as quais se incluem *Cereus jamacaru* como espécie nativa, bem como a palma forrageira *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, classificadas como espécies subespontâneas, oriundas da região da América Central (INSA, 2013).

Popularmente, a espécie *Cereus Jamacaru* DC. é conhecida por alguns nomes como mandacaru, cardeiro, cumbeba, jamacaru, jamaracurú, mandacaru-de-boi, mandacaru-facheiro, mandacaru-de-faixa, urumbeba. O mandacaru é uma espécie de porte arbóreo com caule (cladódio) colunar (Figura 1), de cor verde, alongado e vertical, com gomos longitudinais, espinhos cilíndricos, aciculados e pungentes. As flores são grandes e se apresentam isoladas com cor bem acentuada, enquanto os frutos são grandes e vermelhos com polpa doce e com bastantes sementes (Machado, 2018).

Figura 1 – *Cereus Jamacaru* DC. (Mandacaru), município Rafael Jambeiro/Bahia.



Fonte: Correia (UFRB), 2023.

As cactáceas *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, conhecidas como palma, são espécies arbustivas. A *O. ficus-indica* pode alcançar até 5 m de altura e apresenta tronco cilíndrico e cladódios achatados e carnosos, que atuam na fotossíntese. Suas flores são vistosas, variando do amarelo ao alaranjado, e geram frutos suculentos com aproximadamente 8 cm de comprimento. A *Nopalea cochenillifera* atinge até 3 metros de altura, apresenta cladódios basais cilíndricos que formam o tronco, dos quais se desenvolvem os filocládios. Suas flores são solitárias, com pericarpelo

esverdeado, perianto de coloração rosada intensa, estigmas verde-claros e estames numerosos, com filetes rosados e anteras amareladas (Cordeiro, 2019).

Figura 2 - *Opuntia ficus indica* – Município Rafael Jambeiro/Bahia, Brasil.



Fonte: Correia (UFRB), 2023.

Figura 3 - *Nopalea cochenillifera*. – Município Rafael Jambeiro/Bahia, Brasil.



Fonte: Correia (UFRB), 2022.

As cactáceas apresentam elevada eficiência no uso da água, decorrente de adaptações fisiológicas específicas, sobretudo do Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC). Nesse tipo de metabolismo, os estômatos permanecem fechados durante o dia, reduzindo a perda de água por transpiração, e se abrem durante a noite para a captação de dióxido de carbono (CO₂). Essa via fotossintética confere elevada eficiência hídrica às espécies e é considerada essencial para sua adaptação às condições de seca prolongada típicas do Semiárido (Alves *et al.*, 2020).

Essas espécies exercem papel ecológico fundamental na dinâmica do Semiárido, atuando na conservação do solo, na oferta de recursos hídricos indiretos e no suporte à fauna local. No semiárido, cactáceas como o mandacaru e a palma forrageira desempenham funções ecológicas essenciais, atuando como fontes de alimento e água para a fauna e para os rebanhos durante as estiagens. O mandacaru sustenta polinizadores, oferece frutos e abrigo, enquanto a palma garante hidratação e energia aos ruminantes, reduzindo a pressão sobre a vegetação nativa (Cerratinga, 2021). Além disso, essas espécies contribuem para a conservação do solo, retenção de umidade e mitigação da desertificação, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas da Caatinga e apoiando práticas sustentáveis de manejo (Neto, 2008; Montenegro *et al.*, 2020).

4 PROBLEMÁTICAS

Atualmente, o Semiárido brasileiro enfrenta intensos desafios socioambientais, resultantes tanto das mudanças climáticas quanto da ação antrópica, como o desmatamento, as práticas agropecuárias inadequadas, a caça predatória e as queimadas. De acordo com a Organização das

Nações Unidas (ONU), a desertificação é um dos mais graves processos de degradação ambiental em regiões áridas e semiáridas. Nesse contexto, a conservação das cactáceas tem papel estratégico, uma vez que essas espécies contribuem para a estabilidade dos ecossistemas, a redução da erosão, a manutenção da biodiversidade e a segurança alimentar humana e animal (Moraes, 2024).

Historicamente, o processo de ocupação do Semiárido nordestino tem promovido alterações significativas na paisagem natural, tornando urgente a adoção de práticas sustentáveis de manejo e uso dos recursos naturais (Iêda *et al.*, 2004)

5 PALMA FORRAGEIRA E MANDACARU COMO RECURSOS ALIMENTARES

A palma forrageira e o mandacaru têm ganhado destaque na gastronomia devido à sua riqueza nutricional, que inclui minerais, vitaminas, aminoácidos e carboidratos, além da versatilidade culinária que apresentam. Os cladódios de palma forrageira possuem elevado valor energético, sendo compostos por 61,79% de carboidratos e apresentando 62% de nutrientes digestíveis (Wanderley *et al.*, 2002; Melo *et al.*, 2006). De forma semelhante, os cladódios de mandacaru também se destacam pelo alto conteúdo de carboidratos, totalizando 786,6 g/kg de sua composição (Lima, 2019).

De acordo com Silva (2009), os frutos do mandacaru destacam-se pelo teor de vitamina C e de açúcares redutores, com valores superiores na polpa (100 mg/100 g de vitamina C e 5,76% de açúcares) em relação à casca (80 mg/100 g e 1,53%). Além disso, a polpa apresenta maior teor de sólidos solúveis (11 °Brix), indicando maior dulçor e potencial para consumo e processamento. Os frutos de *Opuntia ficus-indica* apresentam maiores teores de sólidos solúveis (18 a 20 °Brix) quando comparados aos frutos de *Nopalea cochenillifera* (\approx 9,6 °Brix), indicando maior concentração de açúcares e, conseqüentemente, maior potencial para consumo *in natura* e processamento. Além disso, os frutos de *Opuntia* também se destacam por maiores dimensões e massa fresca, enquanto os de *Nopalea*, apesar de menores, apresentam coloração vermelha atrativa (Oliveira *et al.*, 2022).

O mandacaru (*Cereus jamacaru*) e a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) apresentam reconhecido potencial para a alimentação humana, especialmente em regiões semiáridas. O fruto do mandacaru, embora ainda pouco explorado comercialmente, é comestível e constitui fonte alternativa de alimento, enquanto os frutos da palma forrageira são amplamente utilizados para consumo *in natura* ou na forma processada, como polpas, sucos, geleias e outros derivados, devido ao seu sabor adocicado e valor nutricional, destacando-se como recursos estratégicos para a segurança alimentar em áreas de clima seco (Gordiano *et al.*, 2022).

6 USO FORRAGEIRO E POTENCIAL AGRONÔMICO

A região de clima semiárido brasileira é representada por precipitações pluviométricas bastante irregulares, concentrando períodos de chuvas em poucos meses do ano e apresentando longos períodos de estiagem (Alves *et al.*, 2020). Em decorrência desta característica climática, muitos produtores da região utilizam a palma forrageira e o mandacaru como fontes energéticas para os rebanhos, justamente pela resistência destas espécies em se manterem disponíveis durante os períodos de seca (Frota *et al.*, 2015).

De acordo com Silva e colaboradores (2014), a palma forrageira cultivar Miúda apresentou desempenho produtivo superior em comparação às cultivares Redonda e Gigante, especialmente quando cultivada em sistemas de plantio adensado. Os autores observaram que o aumento da densidade de plantas, chegando a até 80.000 plantas por hectare, resultou em expressivo incremento da produtividade por área, tanto em massa verde quanto em massa seca. Esses resultados evidenciam o elevado potencial da palma Miúda como alternativa estratégica para a produção de forragem em regiões semiáridas, contribuindo de forma positiva para a sustentabilidade dos sistemas pecuários e para a segurança alimentar dos rebanhos.

Segundo Pereira (2017), o mandacaru (*Cereus jamacaru*) apresenta alto potencial produtivo devido à sua grande resistência à seca e capacidade de se estabelecer mesmo em condições adversas do semiárido. Em seu estudo, apesar de diferentes adubações não terem gerado diferenças significativas no crescimento e em outras características avaliadas, a espécie mostrou baixa mortalidade e boa adaptação ao campo, confirmando sua utilidade na recuperação de áreas degradadas e seu valor como recurso sustentável para a região.

O potencial agronômico não está relacionado à produtividade direta das cactáceas, mas também dos benefícios obtidos por meio do cultivo em consórcio, definido como o uso simultâneo de diferentes espécies na mesma área, o que favorece a maior estabilidade dos sistemas produtivos (Hernani *et al.*, 2021). Nesse sistema, a palma forrageira exerce influência positiva sobre culturas tradicionais, como algodão e oleaginosas, em razão do seu baixo nível de competição por água e nutrientes e da melhoria do microambiente agrícola. Estudos indicam que os consórcios com palma apresentam maior eficiência produtiva e melhor aproveitamento da terra em relação aos monocultivos (Farias *et al.*, 2000). Segundo Silva *et al.* (2013), o arranjo algodão + palma teve maior rendimento em fibras, enquanto sistemas triplos, como algodão + gergelim + palma, alcançaram maior eficiência de uso da terra. Assim, a inserção da palma forrageira em sistemas consorciados fortalece a resiliência produtiva, a sustentabilidade e a viabilidade econômica da agricultura familiar no semiárido (Frota *et al.*, 2015).

7 POTENCIAL INDUSTRIAL

As cactáceas, especialmente as do gênero *Opuntia*, apresentam elevado potencial industrial devido à variedade de compostos bioativos encontrados em seus tecidos. Entre esses compostos, destacam-se as enzimas vegetais, que possuem atividade catalítica e são amplamente exploradas em setores como a indústria alimentícia, farmacêutica e biotecnológica. Enzimas tradicionalmente utilizadas, como papaína, bromelina e ficina, participam de processos de clarificação de bebidas, produção de laticínios, fermentações e formulações farmacêuticas, demonstrando a importância dos catalisadores naturais na indústria (Antunes, 2017; Teixeira *et al.*, 2000).

Nas palmas (*Opuntia* spp.), encontram-se arilamidases, lipases, proteinases e glucosidases. As proteinases são especialmente relevantes, já que apresentam aplicação potencial em setores como o alimentício, farmacêutico, de couro, lã e detergentes. Em *Opuntia ficus-indica*, proteinases presentes nos frutos têm demonstrado eficiência na coagulação do leite, resultando em produtos com boa textura e aroma, indicando potencial para substituir coagulantes tradicionais (Teixeira *et al.*, 2000).

Além das enzimas, as cactáceas são fontes de saponinas, compostos com propriedades surfactantes e grande importância industrial. Na indústria farmacêutica, são utilizadas como componentes ativos e adjuvantes em formulações. Também são matérias-primas de valor na indústria cosmética, participando da produção de xampus, batons e outros produtos. Na área alimentícia, atuam como agentes espumantes e flavorizantes, ampliando ainda mais o potencial econômico das cactáceas (Freitas, 2024).

Assim, o conjunto de enzimas e fitoquímicos presentes nas cactáceas reforça sua relevância como recurso vegetal multifuncional, com aplicações promissoras nos setores alimentício, químico, cosmético e farmacêutico.

A palma forrageira também pode atuar como hospedeira da cochonilha-do-carmim, insetos do gênero *Dactylopius*. Mesmo de forma indireta, o cultivo da palma contribui para o desenvolvimento desse inseto, responsável pela liberação de um corante natural de alto valor comercial (Lemos, 2007).

8 POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO: AMBIENTAL E AGRÍCOLA

A poluição de rios e mananciais resulta tanto de processos naturais quanto de atividades humanas, envolvendo matéria orgânica biodegradável, compostos sintéticos não biodegradáveis, microrganismos patogênicos, nutrientes e sólidos em suspensão (Libânio, 2008). O tratamento de água recorre à coagulação, processo em que coagulantes agrupam impurezas em flocos removíveis por decantação, sendo comumente utilizados sulfato de alumínio e cloreto férrico (Libânio, 2008).

Polímeros extraídos do mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) têm se mostrado eficientes como coagulantes naturais. Zara *et al.* (2012) observaram que esses polímeros atuam como auxiliares do sulfato de alumínio na remoção de turbidez. Damasceno *et al.* (2018) também demonstrou sua eficácia no tratamento de águas barrentas armazenadas em reservatórios no oeste baiano, permitindo torná-las adequadas para consumo humano e uso doméstico.

O uso de agrotóxicos permanece essencial para garantir produtividade agrícola, porém seu emprego excessivo tem aumentado a toxicidade ambiental e favorecido o surgimento de culturas resistentes (Reyes, 2015). Nesse contexto, pesticidas naturais de origem vegetal representam uma alternativa sustentável por serem metabólitos secundários com menor impacto ambiental, incluindo compostos com atividade antiviral (Bettioli, 2001). Exemplos incluem Neem (*Azadirachta indica*), Piretro (*Chrysanthemum cinerariifolium*), Sábida (*Schoenocaulon officinale*), óleos essenciais e nicotina, todos com ações antifúngica, antibacteriana, repelente e inseticida (Coelho, 2022).

Viroses representam uma das principais causas de perdas agrícolas, podendo gerar prejuízos globais de até 50 bilhões de euros (Farjado; Nickel, 2019). Nesse cenário, *Opuntia ficus-indica* destaca-se pelo potencial antiviral. Rasoulpour *et al.* (2018) demonstraram a atividade de extratos de cladódios contra o vírus do mosaico do pepino (CMV), além de isolarem a proteína Oputina B, de 29–32 kDa. Em estudo anterior, Rasoulpour *et al.* (2016) identificaram a Oputina A, uma homoproteína de 28,3 kDa, com ação antiviral contra CMV, vírus do mosaico amarelo da abobrinha e vírus do mosaico do tabaco. Esses resultados reforçam *O. ficus-indica* como fonte promissora para o desenvolvimento de pesticidas naturais e para aplicações em plantas transgênicas resistentes a vírus (RASOULPOUR, 2016).

9 POTENCIAL BIOENERGÉTICO

A crescente demanda por fontes renováveis de energia em substituição aos combustíveis de origem fóssil como petróleo e carvão tem buscado espécies fornecedoras de matéria-prima (biomassa) para a produção de biocombustíveis. Os biocombustíveis são combustíveis de origem biológica (animal ou vegetal), não fóssil, que possuem características renováveis, sustentáveis, e que não poluem o meio ambiente. Algumas espécies vegetais são fornecedoras de biomassas a exemplo da cana-de-açúcar que por meio do bagaço ocorre a produção de bioetanol, enquanto os óleos vegetais obtidos da soja, mamona, amendoim, dendê podem ser utilizados para a produção de biodiesel (Silva, 2008). A palma possui alta produção de biomassa e elevada eficiência no uso de água, sendo assim uma espécie da Caatinga viável como cultura bioenergética. (Yang *et al.*, 2015). Menezes e colaboradores (2011) traz uma alternativa de uso da palma na obtenção de biomassa para produção de biogás. O aproveitamento da palma ocorre através da extração dos açúcares

fermentescíveis destinados para a produção de etanol, seguindo da produção de biogás a partir da fração de material não fermentescível.

10 PROPRIEDADES FARMACOLÓGICAS TRADICIONAIS E POTENCIAIS TERAPÊUTICOS

Importantes compostos bioativos nos extratos de mandacaru e palma forrageira podem apresentar importantes potencialidades farmacológicas. De acordo com Souza e Barbosa, 2024, extratos obtidos de cladódios de mandacaru e a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) apresentam peptídeos cíclicos com possíveis ações antimicrobiana e fúngicas.

Na medicina popular, frutos e cladódios da palma são empregados para tratamento de enfermidades. Possuem efeitos antidiarreicos, antiasmáticos, diuréticos, cardiotônicos e anti-inflamatórios, além de serem utilizados no tratamento de queimaduras e na redução de glicemia (Nunes, 2011; Macêdo, 2020). Partes do mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) também possuem propriedades medicinais, sendo usadas para tratar problemas respiratórios, infecções de pele e escorbuto. Suas raízes, preparadas em infusão, atuam como diurético e no tratamento de crises renais e cálculos, enquanto a polpa macerada do fruto é utilizada contra úlceras estomacais (Baracho, 2018).

Em estudos experimentais, Santos (2013) verificou que a mucilagem da palma acelera o processo de cicatrização, promovendo maior granulação, reepitelização e retração de feridas.

Do ponto de vista fitoquímico, *Opuntia ficus-indica*, *Nopalea cochenillifera* e *Cereus jamacaru* apresentam ampla diversidade de metabólitos secundários, como flavonoides, saponinas, taninos, xantonas, antraquinonas, esteroides e β -sitosterol, composto associado à ação anti-inflamatória (Salt *et al.*, 1987; Davet *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2017). Extratos de *Opuntia ficus-indica* demonstram forte atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* e elevada ação antioxidante, atribuída ao teor de fenólicos e flavonoides (Silva *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2021).

Em *Nopalea cochenillifera*, foram identificadas altas concentrações de polifenóis (26,62%) e flavonoides (7,63%), com expressiva atividade antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, semelhante ao fármaco nimesulida (Necchi *et al.*, 2011; Necchi *et al.*, 2012). Já o mandacaru possui composição fitoquímica e bromatológica robusta, incluindo tiramina e N-metiltiramina, apresentando atividade antitumoral e antimicrobiana relevante, com redução tumoral significativa sem efeitos mutagênicos ou citotóxicos em modelos *in vivo* e *in vitro* (Souza *et al.*, 2001; Dutra *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2017).

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) e o mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) são recursos estratégicos para o desenvolvimento sustentável do semiárido, desempenhando funções ecológicas essenciais e contribuindo para a conservação da biodiversidade e a segurança alimentar. Apesar de amplamente utilizados na alimentação, medicina popular e como forragem, seus potenciais agronômicos, biotecnológicos e industriais ainda são pouco explorados, sobretudo devido à falta de pesquisas aprofundadas. Compostos como mucilagens, saponinas, enzimas, pigmentos e proteínas bioativas revelam aplicações promissoras em setores como o farmacêutico, agrícola e ambiental. Contudo, pressões antrópicas, desmatamento e manejo inadequado representam desafios à sua conservação. Investimentos em pesquisa, manejo sustentável e políticas públicas podem fortalecer o papel dessas cactáceas como pilares da inovação, da agricultura familiar e da sustentabilidade socioeconômica da Caatinga.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. A. L. *et al.* Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 25, ed. 2, p. 1-12, 2020.

ANTUNES, R. S. *et al.* Enzimas vegetais: extração e aplicações biotecnológicas. **Infarma Ciências Farmacêuticas**, v. 29, ed. 3, p. 181-198, 2017.

BARACHO, G. S.; AGRA, M. de F. *Cereus Jamacaru*: Mandacaru. In: **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial**. Brasília-DF: MMA, 2018. p. 847-859.

BETTIOL, W. Resultados de pesquisa com métodos alternativos para o controle de doenças de plantas. In: **Encontro de Processos de Proteção de Plantas**, 2001. Botucatu: Agroecológica, p. 125-135.

COELHO, R. G. G. Derivados fitoquímicos com potencial atividade pesticida. 2022. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Braga, Portugal, 2022.

CORDEIRO, S. Z. **Nopalea cochenillifera (L.) Salm-Dyck**. 2019. Disponível em: <http://www.unirio.br>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CORREIA, A. **Foto Palma Forrageira *Opuntia ficus indica*, município Rafael Jambeiro-Bahia**. Programa de pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo Baiano, 2023. (Imagem cedida pela própria autora).

CORREIA, A. **Foto Palma Forrageira *Cereus Jamacaru DC.*, município Rafael Jambeiro-Bahia**. Programa de pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo Baiano, 2023. (Imagem cedida pela própria autora).

CORREIA, A. **Foto Palma Forrageira *Nopalea cochenillifera*, município Rafael Jambeiro-Bahia**. Programa de pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo Baiano, 2022. (Imagem cedida pela própria autora).

DAMASCENO, J. R.; ARAUJO, G. T.; SILVA, M. A. **Miniestação de tratamento de água barrenta com uso de mandacaru como coagulante natural**. 2018.

DAVET, A. *et al.* Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2, p. 561-564, 2024.

DUTRA, J. C. V. *et al.* *Cereus jamacaru* DC extrato hidroalcoólico promove atividade anticitotóxica e antitumoral. **Pharmaceuticals**, p. 1-18, 2018.

FARIAS, V. F. S. **Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Ribeira do Pombal-BA, 2013.

FARJADO, T. V. M.; NICKEL, O. Transmissão de vírus e controle de viroses em plantas. Bento Gonçalves-RS: **Embrapa Uva e Vinho**, 2019.

FREITAS, T. B.; BATISTA, E. A.; SILVA, N. C. S. Análise da presença de saponina na droga vegetal salsaparrilha. **Journal of Exact Sciences**, v. 37, ed. 2, p. 30-32, 2024.

FROTA, M. N. L. *et al.* Palma forrageira na alimentação animal. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2015. 47 p.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro. Recife: **Associação Plantas do Nordeste**, 2006.

GORDIANO, I. *et al.* Potencial das cactáceas brasileiras na gastronomia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022.

HERNANI, L. C.; SOUZA, L. C. F.; CECCON, G. Consorciação de culturas. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://embrapa.br>. Acesso em: 8 dez. 2025.

INSTITUTO Sociedade, População e Natureza – ISPN. Mandacaru. **Cerratinga**, 2021. Disponível em: <https://cerratinga.org.br>. Acesso em: 8 dez. 2025.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais no Brasil**. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 2014.

LEITE, A. P. Adubação organomineral em mandacaru. 2017. Dissertação (Mestrado) – UFPB, Areia, 2017.

LEMOS, G. Prosa Rural – Controle alternativo da cochonilha do carmim em palma forrageira. **Emepa/Embrapa**. Programa Prosa Rural, dezembro de 2007 (4ª semana), Região Semiárido. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2508163/prosa-rural---controle-alternativo-da-cochonilha-do-carmim-em-palma-forrageira>. Acesso em: 09 dez. 2025.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2. ed. Campinas-SP: Átomo, 2008.

LIMA, R. S. **Síntese e aplicação do acetato de celulose a partir de palma forrageira**. 2019. **Dissertação (Mestrado)** – Garanhuns-PE, 2019.

MACEDO, A. J. S. *et al.* Ocorrência de pragas e doenças em genótipos de palma forrageira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987, 2020.

MACHADO, F. A. *Cereus jamacaru*: Mandacaru. In: Plantas para o futuro – Nordeste. **Brasília-DF: MMA**, 2018. p. 681-687.

MELO, A. A. S. *et al.* Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com caroço de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1165-1171, 2006.

MONTENEGRO, A. A. A. *et al.* Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo. **FAVE**, v. 19, n. 2, p. 45-59, 2020.

MORAES, B. S. R. (Org.). **Recaatingamento**. 8. ed. Salvador-BA: Imburanatec Design, 2024.

NUNES, C. S. Uso e aplicações da palma forrageira. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 58-66, 2011.

NECCHI, R. M. M. *et al.* In vitro antimicrobial activity, total polyphenols, and flavonoids contents of *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Cactaceae). **Pesquisa em Farmácia**, v. 2, ed. 3, p. 1-7, 2012.

NECCHI, R. M. M. **Farmacobotânica e atividade anti-inflamatória de *Nopalea cochenillifera***. 2011. Dissertação (Mestrado), 2011.

OLIVEIRA, L. D. P. *et al.* Caracterização de frutos de espécies de palma forrageira. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 10, p. 68433-68439, 2022.

RASOULPOUR, R. *et al.* Antiviral protein from prickly pear. **Crop Protection**, v. 93, p. 33-42, 2016.

REYES, C. P. Inseticidas botânicos. **Embrapa Hortaliças**, 2015. Disponível em: <https://embrapa.br>. Acesso em: 12 nov. 2023.

RIBEIRO NETO, M. L. Prosa Rural – Plantio de mandacaru. **Embrapa Semiárido**, 2008. Disponível em: <https://embrapa.br>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÁ, I. B.; RICHÉ, G. R.; FOTIUS, G. A. As paisagens e a degradação do semiárido. **Embrapa Semiárido**, 2004.

SALT, T. A.; TOCKER, J. A.; ADLER, J. H. Dominance of 5-sterols in Cactaceae. **Phytochemistry**, p. 731-733, 1987.

SANTOS, M. M. **Perfil fitoquímico da palma forrageira**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Recife, 2013.

SILVA, G. S. *et al.* Algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma. **RBEAA**, v. 17, n. 9, p. 975-981, 2013.

SILVA, L. M. da *et al.* Produtividade da palma em diferentes densidades. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2064-2071, 2014.

SILVA, P. P. P. *et al.* Atividade antimicrobiana de *C. jamacaru* e *O. ficus-indica*. **Rev. Eletrônica Farmácia**, v. 14, n. 3, p. 7-12, 2017.

SILVA, R. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Palmas forrageiras: sistemas de produção. **Revista Geama**, v. 1, n. 2, p. 151-161, 2015.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.843-851, maio-junho, 2008.

SOUZA JUNIOR, A. P. **Caracterização parcial de proteínas e prospecção de peptídeos cíclicos em extratos de mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) e palma forrageira [*Opuntia ficus-indica* (L.) P. Mill. e *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck]**. 2025. Dissertação (Mestrado/Doutorado em Bioquímica e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Barreiras, 2025

SOUZA, I. A. *et al.* Antitumour properties of ***Cereus jamacaru***. **Fundamental & Clinical Pharmacology**, v. 15, suppl. 1, p. 148, 2001.

TEIXEIRA, G. *et al.* Enzymes of *Opuntia ficus-indica*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 88, p. 299-311, 2000.

WANDERLEY, W. L. *et al.* Palma forrageira na alimentação de vacas leiteiras. **RBZ**, v. 31, n. 1, p. 273-281, 2002.



YANG, L.; LU, M.; CARL, S.; MAYER, A, J.; CUSHMAN, J. C.; TIAN, E.; HONGFEI LIN. Biomass characterization of Agave and Opuntia as potential biofuel feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, v.76, p. 43-53, 2015.

ZARA, R. F. *et al.* Polímero natural do mandacaru para tratamento de água. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 75-83, 2012.

CAPÍTULO 9

COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA INVERTEBRADA EM VEGETAÇÃO NATIVA E EUCALIPTAL NO BIOMA CAATINGA, EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES, ALAGOAS

COMPOSITION OF THE INVERTEBRATE MACROFAUNA IN NATIVE VEGETATION AND EUCALYPTUS PLANTATIONS IN THE CAATINGA BIOME, OLHO D'ÁGUA DAS FLORES, ALAGOAS

Wellington dos Santos Graciliano   

Mestrando em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Sherliton da Silva Alves   

Mestre em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Leila Caroline Salustiano Silva   




Mestra em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Elba dos Santos Lira   

Mestra em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Renato Wilian Santos de Lima   

Doutorando em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Jorge Luiz Lopes da Silva   


Doutor em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Docente do Mestrado Profissional em Ensino de Biologia/PROFBIO (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Kallianna Dantas Araujo   

Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Ana Paula Lopes da Silva   

Doutora em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Docente do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFAL), Maceió - AL, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1159 

Resumo: A eucaliptocultura se destaca por sua adaptabilidade a diferentes condições ambientais, e sua implantação no Bioma Caatinga pode alterar a biodiversidade local, notadamente os invertebrados da macrofauna, que desempenham funções ecológicas como dispersão de sementes e polinização. Objetivou-se avaliar a composição dos organismos invertebrados da macrofauna em área de vegetação nativa da Caatinga e em plantio de *Eucalyptus* spp., no município de Olho D'Água das Flores, Alagoas. Foram realizadas avaliações bimestrais de dezembro/2016 a outubro/2017. Os invertebrados foram capturados por meio de armadilhas Provid instaladas nas copas das árvores e identificados a nível de ordem. Foram realizadas medições da temperatura do ar, registro dos dados de precipitação pluvial e teste de correlação de Spearman. Diptera e Hymenoptera são as ordens mais abundantes nas duas áreas, devido à alta adaptabilidade ecológica desses insetos. O eucaliptal apresenta maior abundância em razão da produção contínua de flores, atraindo polinizadores, como Hymenoptera e Lepidoptera. Durante o período chuvoso, observa-se aumento no número de indivíduos, notadamente da ordem Diptera, além de favorecer a permanência da ordem Odonata. A maior riqueza de ordens na vegetação de Caatinga reflete a variedade vegetal, favorecendo ordens mais seletivas como Zygentoma e Thysanoptera. O eucaliptal é um ambiente mais suscetível às variações térmicas, enquanto a heterogeneidade vegetacional da Caatinga reduz o impacto direto da temperatura do ar. Fatores bióticos e abióticos influenciam a macrofauna invertebrada, evidenciando a necessidade de conservação da vegetação nativa da Caatinga e avaliação do manejo dos eucaliptais para minimizar os efeitos microclimáticos sobre esses organismos.

Palavras-chave: Semiárido. Eucaliptocultura. Hymenoptera. Lepidoptera. Diptera.

Abstract: Eucalyptus plantations stand out for their adaptability to different environmental conditions, and their establishment in the Caatinga biome may alter local biodiversity, particularly the invertebrate macrofauna, which perform ecological functions such as seed dispersal and pollination. This study aimed to assess the composition of invertebrate macrofauna in native Caatinga vegetation and in *Eucalyptus* spp. plantations in the municipality of Olho D'Água das Flores, Alagoas. Bimonthly surveys were conducted from December/2016 to October/2017. Invertebrates were captured using Provid traps installed in the tree canopies and identified at the order level. Measurements of air temperature, records of rainfall data, and Spearman correlation tests were performed. Diptera and Hymenoptera were the most abundant orders in both areas, due to the high ecological adaptability of these insects. The Eucalyptus plantation exhibited greater abundance due to the continuous production of flowers, which attract pollinators such as Hymenoptera and Lepidoptera. During the rainy season, an increase in the number of individuals was observed, particularly of the order Diptera, in addition to favoring the persistence of the order Odonata. The higher richness of orders in the Caatinga vegetation reflects plant diversity, favoring more selective orders such as Zygentoma and Thysanoptera. The Eucalyptus plantation is a more thermally variable environment, whereas the vegetational heterogeneity of the Caatinga reduces the direct impact of air temperature. Biotic and abiotic factors influence the invertebrate macrofauna community, highlighting the need for the conservation of native Caatinga vegetation and the evaluation of Eucalyptus management practices to minimize microclimatic effects on these organisms.

Keywords: Semi-arid. Eucalyptus plantation. Hymenoptera. Lepidoptera. Diptera.

1 INTRODUÇÃO

A monocultura de eucalipto no Brasil se destaca em razão da elevada capacidade da espécie em se adaptar a diferentes condições ambientais, devido ao rápido crescimento e facilidade de

manejo (Eufrade-Junior; Sousa; Guerra, 2021). No estado de Alagoas a eucaliptocultura se intensificou a partir de meados de 2013, com a instalação de unidades experimentais e posterior expansão do cultivo (Gurgel; Santos; Salomon, 2020).

No bioma Caatinga, o baixo custo de produção favoreceu a adoção do eucalipto como alternativa de compensação ambiental, auxiliando na redução da pressão sobre a vegetação nativa, historicamente impactada por desmatamento, queimadas, sobrecarga animal, uso intensivo e manejo inadequado do solo (Sá *et al.*, 2010). Contudo, por se tratar de uma espécie exótica, seu cultivo exige monitoramento atento, uma vez que pode alterar a composição da biodiversidade local (Pelizari *et al.*, 2022).

Dessa forma, tornou-se essencial a realização de pesquisas que avaliasse os efeitos do cultivo de eucalipto no Semiárido, notadamente sobre a macrofauna invertebrada, a qual desempenha importantes funções ecológicas, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e polinização (Lopes; Dal-Farra; Athaydes, 2014). Esses organismos apresentam comprimento ≥ 2 mm (Swift; Heal; Anderson, 1979), e são representados principalmente por Hymenoptera (Formigas, Vespas, Abelhas), Coleoptera (Besouros), Araneae (Aranha), Lepidoptera (Borboletas e Mariposas), dentre outros (Biondi; Ferreira; Antonini, 2022).

A presença desses organismos no ambiente é influenciada por fatores abióticos, como temperatura e umidade (Bartz *et al.*, 2014), bem como por características da vegetação e pela disponibilidade de recursos alimentares (Dioro *et al.*, 2025). Desse modo, o estudo comparativo da macrofauna invertebrada aérea em ambientes com vegetação nativa e exótica permite compreender como diferentes tipos de cobertura vegetal influenciam a dinâmica desses invertebrados, e consequentemente o funcionamento do ecossistema (Silva *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, objetivou-se avaliar a composição dos organismos invertebrados da macrofauna em área de vegetação nativa da Caatinga e em plantio de *Eucalyptus* spp., no município de Olho D'Água das Flores, Alagoas.

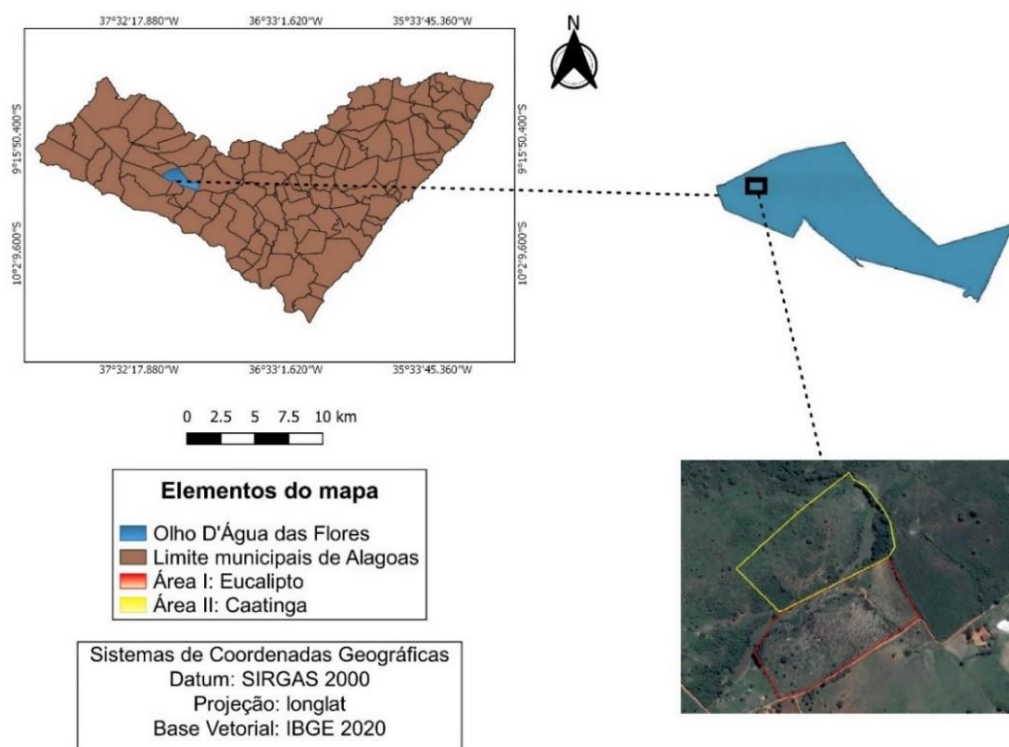
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O município Olho D'Água das Flores está localizado na porção Centro-Oeste do estado de Alagoas, sob as coordenadas geográficas 09°32'10" S e 37°17'38" O, a uma altitude de 286 m (SEPLAG, 2023) (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima é BSh-Tropical Semiárido, temperatura média anual acima de 22 °C e precipitação média anual entre 400 e 600 mm (Barros *et al.*, 2012). A vegetação original é composta predominantemente por Caatinga Hiperxerófila e alguns

enclaves de Floresta Caducifólia, desenvolvida sobre Neossolos Litólicos e Regolíticos, Planossolos e áreas de Argissolos Vermelhos (EMBRAPA, 2020).

Figura 1 – Localização das áreas de estudo em Olho D'Água das Flores, Alagoas.



Fonte: Autores, 2025.

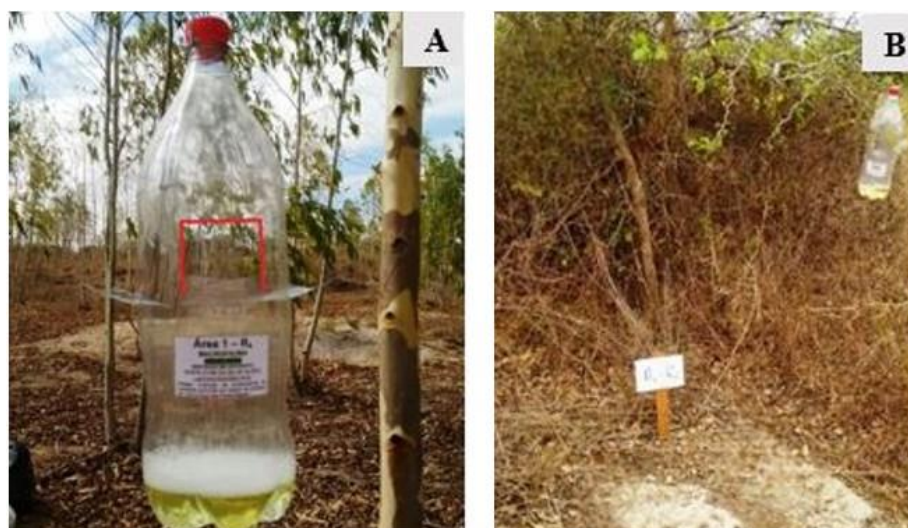
A Área I (Figura 2A) corresponde a um monocultivo com 6 ha de *Eucalyptus* spp. com 5 anos de idade, apresentando 16 mil indivíduos de rebrota. A Área II (Caatinga) (Figura 2B) possui 8 ha, com vegetação hipoxerófila, composta por espécies como *Croton heliotropiifolius* Kunth (Velame), *Desmanthus virgatus* (L.) Willd. (Jureminha), *Crataegus laevigata* (Poir.) DC. (Espinheiro-branco) *Pilosocereus piauhiensis* (Gürke) Byles & G. D. Rowley (Facheiro), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema-preta), *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. (Ouricuri), *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Bursera leptophloeos* Mart. (Imburana-de-cambão), *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Sm. (Imburana-de-cheiro), dentre outras.

Figura 2 – Área I: *Eucalyptus* spp. (A) e Área II: Caatinga (B).

Fonte: Autores, 2025.

2.2 Descrição da pesquisa

Foram realizadas avaliações bimestrais (dez./2016, fev./abr./jun./ago./out./2017), distribuindo-se dez (10) pontos amostrais em cada área, com espaçamento de 10 m entre si. Para a quantificação da macrofauna invertebrada, utilizou-se armadilhas Provid com três aberturas de 5x5 cm, contendo 200 mL de solução de detergente neutro a 5% e 12 gotas de formol P.A. (Sperber; Vieira; Mendes, 2003), as quais foram instaladas em galhos a 1,5 m do solo (Lima Filho *et al.*, 2014), permitindo capturar organismos presentes nas copas das plantas, seja deslocando-se sobre os ramos ou em voo (Figuras 3A e 3B), permanecendo em campo por 96 h (Giracca *et al.*, 2003).

Figura 3 – Armadilhas Provid aérea instaladas nas copas das plantas: Área I (A) e Área II (B).

Fonte: Autores, 2025.

Em laboratório, o material coletado foi lavado, e os organismos foram acondicionados em recipientes plásticos contendo álcool etílico a 70%. Os invertebrados com comprimento ≥ 2 mm (Swift; Heal; Anderson, 1979) foram identificados e quantificados a nível de ordem, utilizando-se a chave de identificação de Triplehorn e Johnson (2011).

A temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) foi medida com auxílio de termo-higrômetro, posicionado a 1,5 m do solo nos pontos amostrais das áreas de estudo. Os dados de precipitação pluvial (mm) foram obtidos no banco de dados da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL).

2.3 Análise estatística

Foi utilizada a correlação de Spearman para verificar a relação entre a abundância e riqueza da macrofauna invertebrada com a temperatura do ar, classificando-se a força da associação em desprezível ($r \leq 0.30$), baixa ($r > 0.30 \leq 0.50$), moderada ($r > 0.50 \leq 0.70$), alta ($r > 0.70 \leq 0.90$) e muito alta ($r > 0.90$), conforme proposto por Mukaka (2012), com auxílio do software RStudio versão 4.4.1 (R Core Team, 2024). A abundância dos invertebrados foi representada por meio do Diagrama de Sankey (Bogart, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 4 estão apresentados alguns exemplares da macrofauna invertebrada registrada nas áreas de estudo.

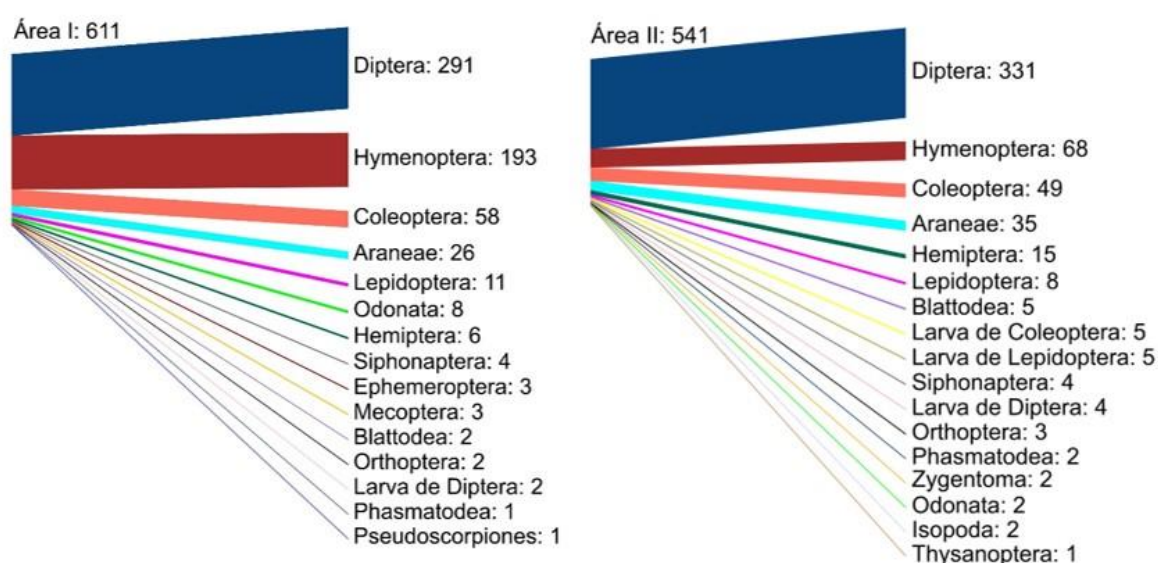
Figura 4 – Organismos invertebrados coletados nas armadilhas.



Fonte: Autores, 2025.

Foram capturados um total de 1.152 indivíduos, sendo 611 (53%) na Área I e 541 (47%) na Área II (Figuras 5A e 5B). A maior abundância observada no eucaliptal está relacionada ao elevado número de árvores e distribuição padronizada das plantas, fatores que aumentam a disponibilidade de alimentos nas copas. De acordo com Valadares, Landau e Maia (2020), as árvores de eucalipto produzem grande quantidade de folhas e, adicionalmente, suas flores podem oferecer néctar, atraindo insetos polinizadores, como Hymenoptera e Lepidoptera (Silva, 2010), grupos que foram mais abundantes na Área I (Figura 5).

Figura 5 – Abundância da macrofauna pelo Diagrama de Sankey nas áreas de plantio de eucalipto (Área I) e vegetação nativa da Caatinga (Área II).



Fonte: Autores, 2025.

As ordens Diptera e Hymenoptera foram os grupos mais expressivos em ambas as áreas (Figuras 5A e 5B), fato que pode estar associado a elevada adaptabilidade ecológica desses táxons. Os dípteros (Mosquitos) apresentam alta capacidade de explorar diferentes ambientes, exercendo funções como predadores, parasitas ou parasitoides, além de se alimentarem de plantas ou fungos (Carvalho *et al.*, 2024). Os himenópteros, além de atuarem como polinizadores, incluem os formicídeos (Formigas), que se destacam pela capacidade de ocupar inúmeros microhabitats (Pereira; Almeida, 2023).

Nos meses de estiagem, quando não houve precipitação (dezembro e fevereiro), observou-se maior abundância no eucaliptal (Tabela 1), devido à disponibilidade constante de alimento fornecido pela espécie. Por outro lado, na área com vegetação nativa da Caatinga, a oferta de alimento se torna mais restrita nos períodos mais secos, uma vez que muitas espécies vegetais

reduzem a produção flores, frutos e folhas (MMA, 2010), o que limita a presença dos invertebrados nessa área.

No mês mais chuvoso (junho), observou-se um aumento expressivo da abundância de invertebrados em ambas as áreas (Tabela 1). Esse resultado indica que, independentemente da composição vegetal, a precipitação atua como um fator modulador na dinâmica dos invertebrados. De acordo com Giri, Nagloo e Enjin (2024), muitos organismos apresentam comportamento oportunista, explorando ambientes de forma mais intensa apenas em períodos favoráveis, respondendo rapidamente a variações microclimáticas, como aumento da umidade e temperatura. Isso explica os picos observados durante o período chuvoso, quando a ordem Diptera, foi a principal beneficiada pelas condições de elevada umidade (Tabela 1). Além disso, a Ordem Odonata (Libélula), foi registrada apenas nos meses de maior precipitação (abril, junho e agosto) (Tabela 1), o que pode estar associado ao ciclo de vida do grupo, uma vez que suas larvas são aquáticas e necessitam de corpos d'água formados ou ampliados para completar seu desenvolvimento (Pinto, 2024).

Tabela 1 – Abundância relacionada com a Precipitação Pluvial-PP (mm) nos meses de coleta (dez./2016, fev./abr./jun./ago./out./2017) nas áreas de plantio de eucalipto (Área I) e vegetação nativa da Caatinga (Área II).

Grupos Taxonômicos	Área I						Área II					
	Dez	Fev	Abr	Jun	Ago	Out	Dez	Fev	Abr	Jun	Ago	Out
Diptera	9	9	27	215	22	9	29	9	35	221	17	20
Hymenoptera	114	46	6	16	4	7	22	6	15	6	2	17
Coleoptera	2	4	11	14	5	22	12	4	5	3	3	22
Araneae	1	4	3	3	-	15	4	-	1	4	4	22
Lepidoptera	-	-	3	2	4	2	-	1	3	3	-	1
Odonata	-	-	-	8	-	-	-	-	1	-	1	-
Hemiptera	-	-	-	-	3	3	-	-	1	-	1	13
Siphonaptera	-	1	1	-	-	2	-	-	-	-	1	3
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Mecoptera	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larva de Diptera	-	-	-	2	-	-	-	-	3	1	-	-
Orthoptera	-	-	1	-	-	1	2	-	-	-	-	1
Blattodea	-	-	1	-	1	-	-	1	4	-	-	-

Thysanoptera	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Larva de Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
Larva de Lepidoptera	-	-	-	-	-	-	1	-	1	3	-	-
Phasmatodea	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Pseudoscorpiones	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isopoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Zygentoma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Abundância	126	64	58	260	39	64	71	21	75	242	32	100
PP (mm)	0	0	127,2	143,2	103,2	2	0	0	127,2	143,2	103,2	2

Fonte: Autores, 2025.

A riqueza total registrada foi de 20 grupos taxonômicos, com 12 comuns entre as áreas, 3 (três) exclusivos da Área I e 5 (cinco) exclusivos da Área II (Quadro 1). A maior riqueza observada na Área II (17 ordens) está relacionada à maior variedade de espécies vegetais presentes nesse ambiente, que fornece diferentes locais de abrigo e favorece a ocorrência de táxons mais seletivos ou especializados, como Zygentoma (Traça-dos-livros) e Thysanoptera (Tripes). No caso dos zigentomos, a heterogeneidade da vegetação da Caatinga oferece condições propícias para sua presença, uma vez que esses organismos podem habitar tanto o solo quanto cavidades sob cascas de diferentes espécies arbóreas (Henrique; Molero-Baltanás, 2024), recursos pouco diversificados no ambiente homogêneo do eucaliptal. Já os tisanópteros demonstram capacidade de explorar diferentes espécies vegetais na Caatinga. Em estudo realizado por Santos (2016) em Petrolina, Pernambuco, também foram observados tripes em inúmeras plantas desse Bioma, reforçando sua associação com a vegetação nativa.

Quadro 1 – Ordens da macrofauna invertebrada presentes nas áreas de plantio de eucalipto (Área I) e vegetação nativa da Caatinga (Área II).

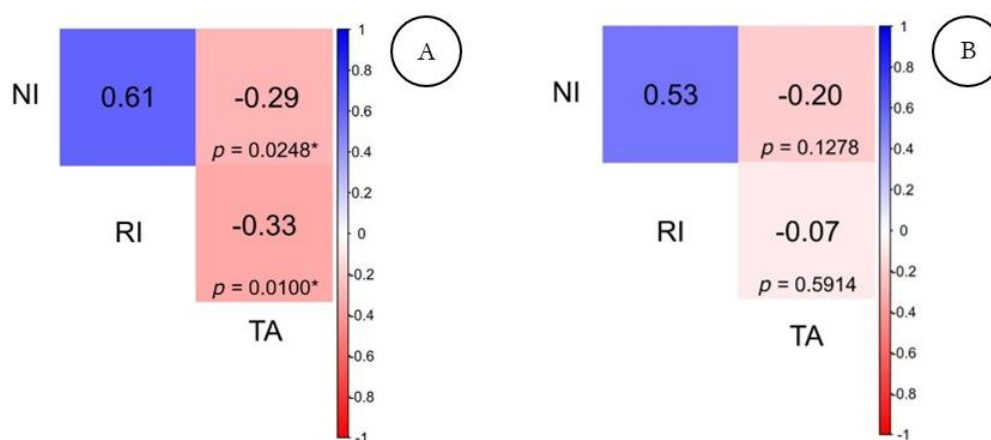
Áreas	Grupos comuns e exclusivos
I e II	Blattodea, Odonata, Larva de Diptera, Araneae, Hymenoptera, Siphonaptera, Hemiptera, Diptera, Phasmatodea, Coleoptera, Orthoptera e Lepidoptera
I	Mecoptera, Pseudoscorpiones e Ephemeroptera
II	Larva de Coleoptera, Larva de Lepidoptera, Isopoda, Zygentoma e Thysanoptera

Fonte: Autores, 2025.

Na Área I, observou-se correlação negativa significativa da abundância (correlação desprezível) e riqueza (correlação fraca) com a temperatura do ar (Figura 6A), indicando que valores

mais elevados de temperatura podem reduzir levemente a presença dos organismos nesse ambiente e limitar a permanência de grupos mais sensíveis. Já na Área II, não foi registrada correlação (Figura 6B), sugerindo que a maior variedade da vegetação da Caatinga contribui para atenuar os efeitos da variação térmica sobre os invertebrados.

Figura 6 – Estimativas de correlação de Spearman da abundância (NI) e riqueza (RI) da macrofauna relacionadas com temperatura do ar (TA °C) nas Áreas I (A) e II (B).



Fonte: Autores, 2025.

4 CONCLUSÃO

A maior abundância das ordens Diptera e Hymenoptera em ambas as áreas resulta da elevada adaptabilidade ecológica desses grupos, que exploram diferentes recursos em distintos ambientes. A área com plantio de *Eucalyptus* spp. apresenta o maior número de organismos da macrofauna em função da contínua produção de flores, que fornece néctar e atrai insetos polinizadores, como Hymenoptera e Lepidoptera.

A precipitação pluvial mostra-se determinante para a variação temporal dos invertebrados, resultando no aumento expressivo da ordem Diptera em ambas as áreas durante o período chuvoso e favorecendo a permanência da ordem Odonata. Já no período de estiagem, a diferença da abundância entre os ambientes reforça o papel da disponibilidade constante de recursos na área com plantio de eucalipto frente à sazonalidade marcante da vegetação nativa da Caatinga.

A maior riqueza de grupos taxonômicos na área de vegetação de Caatinga reflete a variedade vegetal desse ambiente, que amplia a disponibilidade de microhabitats e favorece a ocorrência de grupos mais seletivos, como Zygentoma e Thysanoptera, enquanto a homogeneidade vegetal na área de eucalipto limita a presença desses táxons.

O eucaliptal é um ambiente mais suscetível às variações térmicas, refletindo uma menor capacidade de suportar os efeitos da temperatura sobre os invertebrados da macrofauna. Por outro lado, a heterogeneidade da vegetação na área da Caatinga atua como fator de resiliência, atenuando o impacto direto da temperatura do ar.

O estudo reforça que fatores bióticos e abióticos interagem de forma conjunta de modo a influenciar a comunidade de invertebrados da macrofauna, e destaca a importância de considerar a composição da vegetação e às condições microclimáticas na compreensão da dinâmica desses organismos no ecossistema. Recomenda-se a conservação da vegetação nativa da Caatinga e avaliação do manejo dos eucaliptais, de modo a minimizar os efeitos microclimáticos sobre a macrofauna invertebrada.

Agradecimentos

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- BARROS, A. H. C. *et al.* **Climatologia do Estado de Alagoas**. 2. ed. Recife: Embrapa solos, 2012. 32 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/950797>
- BARTZ, M. L. C. *et al.* The influence of land use systems on soil and surface litter fauna in the western region of Santa Catarina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 880-887, out./dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500003>
- BIONDI, S. F.; FERREIRA, R. L.; ANTONINI, Y. La diversidad de grupos taxonómicos y tróficos de los invertebrados del suelo responden positivamente a la restauración de los bosques riparios. **Ecología Austral**, Buenos Aires, v. 32, n. 1, p. 10-18, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1450>
- BOGART, S. **Sample diagrams & starting points**. 2014. Disponível em: <https://sankeymatic.com/build>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- CARVALHO, C. J. B. de *et al.* Diptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. 2. ed. Manaus: INPA, 2024. p. 783-831.
- DIORO, G. M. F. *et al.* Influência de fatores abióticos enfrentados no levantamento e caracterização da entomofauna no Centro Universitário do Sagrado Coração (UNISAGRADO), Bauru, São Paulo. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 1-17, fev. 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n4-031>
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Zoneamento agroecológico do estado de Alagoas: levantamento de reconhecimento de baixa e média**

intensidade dos solos do estado de Alagoas. 2020. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124244>. Acesso em: 06 set. 2025.

EUFRADE-JUNIOR, H. de J.; SOUSA, J. M. R. de; GUERRA, S. P. S. Efeito da adubação mineral e densidade de plantio nas características dendrométricas de plantações de eucalipto de rápido crescimento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 350-366, jan./mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509842978>

GIRACCA, E. M. N. *et al.* Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia de Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 257-261, jul./set. 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/604>

GIRI, G.; NAGLOO, N.; ENJIN, A. A dynamic humidity arena to explore humidity-related behaviours in insects. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 227, n. 1, p. 1-12, nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1242/jeb.247195>

GURGEL, V. A.; SANTOS, R. C. A. L.; SALOMON, K. R. Avaliações de impactos nas implantações do cultivo do eucalipto na mesorregião leste do estado de Alagoas. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 1, p. 262-283, jan./abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.238427>

HENRIQUE, A. L.; MOLERO-BALTANÁS, R. *Zygentoma Börner*, 2904. In: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. 2. ed. Manaus: INPA, 2024. p. 170-173.

LIMA FILHO, J. A. de *et al.* Captura de insetos utilizando um novo modelo de armadilha com garrafa pet em uma área do IFPB Campus Campina Grande, PB. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 8, n. 1, p. 74-79, jun. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/18072>

LOPES, L. A.; DAL-FARRA, R. A.; ATHAYDES, Y. Relevância dos insetos em termos ecológicos e suas interações com o ser humano: contribuições para a educação ambiental. **Educação Ambiental em Ação**, Novo Hamburgo, v. 13, n. 49, p. 1-9, set./nov. 2014. Disponível em: <http://www.revistaeca.org/artigo.php?idartigo=1863>

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. 1. ed. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368 p. Disponível em: <https://www.gov.br/florestal/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/Usosustentveleconservaodosrecursosflorestaisdacaatinga.pdf>. Acesso em: 07 set. 2025.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, Blantyre, v. 24, n. 3, p. 69-71, set. 2012. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3576830>

PELIZARI, G. P. *et al.* Leaf breakdown in a tropical stream: comparison between the exotic *Eucalyptus grandis* and two native species. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 34, n. 1, p. 1-11, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2321>

PEREIRA, J. R.; ALMEIDA, F. S. Influência da heterogeneidade ambiental sobre a mirmecofauna em diferentes usos do solo no município de Bom Despacho, estado de Minas Gerais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 1-25, jan./mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509864534>

PINTO, Â. P. Odonata Fabricius, 1793. *In*: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. 2. ed. Manaus: INPA, 2024. p.783-831.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 29 jul. 2025.

SANTOS, D. de S. **Bioatividade de espécies vegetais da Caatinga em relação ao trips da cebola**. 2016. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – *Campus Petrolina Zona Rural*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2016. Disponível em: <https://releia.ifsertao-pe.edu.br/jspui/handle/123456789/497>

SÁ, I. B. *et al.* Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. *In*: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da (eds.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 126-158. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861927>

SEPLAG. SECRETÁRIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, GESTÃO E PATRIMÔNIO. **Perfil municipal: Olho D'Água das Flores**. 2023. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/2faafe79-05b2-458c-a991-56d3ce383dbc/resource/2fa4b959-6717-46e4-9d81-eb6d21353363/download/olho-dagua-das-flores.pdf>. Acesso em: 06 set. 2025.

SILVA, J. H. C. S. *et al.* Indicadores qualitativos do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos em diferentes sistemas de ocupação da terra. **Revista Nativa**, Sinop, v. 9, n. 5, p. 519-527, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.13079>.

SILVA, J. W. P. da. **Visitantes florais de clones precoces do eucalipto urograndis (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e as características de néctar como indicativo de seu potencial apícola**. 2010. 79 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2010.tde-25052010-081831>.

SPERBER, C. F.; VIEIRA, G. H.; MENDES, M. H. Improving litter cricket (Orthoptera: Gryllidae) sampling with pitfall traps. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 733-735, out./dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000400030>.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems: studies in ecology**. 5. ed. Oxford: Blackwell Scientific, 1979. 238 p.




TRIPLEHORN, C. A.; JONNISON, N. F. **Estudo dos insetos**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809 p.

VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C.; MAIA, N. L. M. Evolução da produção de eucalipto (*Eucalyptus* spp. e outros gêneros, Myrtaceae). *In*: LANDAU, E. C. *et al.* (eds.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 1435-1500. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122712>. Acesso em: 08 set. 2025.

CAPÍTULO 10

INFLUÊNCIA DOS IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NA COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA INVERTEBRADA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COSTA DOS CORAIS

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACTS ON INVERTEBRATE MACROFAUNA COMPOSITION IN THE COSTA DOS CORAIS ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA

Wellington dos Santos Graciliano   




Mestrando em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Renato Wilian Santos de Lima   

Doutorando em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Maria Hortência da Silva Targino   

Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Radjalma Almerino dos Santos   


Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Élida Monique da Costa Santos   

Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Docente do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFAL), Maceió - AL, Brasil

Kallianna Dantas Araujo   

Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFAL), Maceió - AL, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1160 

Resumo: Manguezais são ecossistemas vitais à proteção costeira, mas enfrentam pressões antrópicas, sendo os invertebrados importantes bioindicadores por sua sensibilidade às modificações na paisagem. Objetivou-se avaliar a composição da macrofauna invertebrada, a nível de ordem, em ecossistema manguezal com diferentes tipos de impacto antropogênico. A pesquisa foi realizada na APA Costa dos Corais (APACC) em Maceió, Alagoas, em áreas de mangue com deposição de resíduos, fragmentação de habitats e desmatado (set./dez. 2024 e mar./jun. 2025). Utilizou-se armadilhas Provid nas copas das plantas para captura dos invertebrados. Realizou-se medições da temperatura e umidade do ar. E aplicou-se análise de Kruskal-Wallis e correlação de Spearman. A densidade da vegetação na área de mangue com deposição de resíduos contribui para a redução da temperatura do ar, favorecendo a maior abundância de indivíduos, além da disponibilidade de abrigo e alimento, em razão da heterogeneidade vegetacional. Entretanto, o lançamento de esgoto e o acúmulo de resíduos sólidos favorecem a proliferação de ordens sinantrópicas (Diptera, Hymenoptera e Blattodea). A intensa circulação de pessoas na área de mangue com fragmentação de habitats inibe a presença da macrofauna, em virtude dos ruídos antropogênicos, afetando o comportamento dos organismos e contribuindo para menor riqueza de grupos taxonômicos. A área de mangue desmatado apresenta menor variedade de recursos, o que restringe a permanência dos invertebrados, acarretando no menor número de organismos. A estrutura da vegetação e a intensidade dos impactos antropogênicos modulam a composição da macrofauna invertebrada. Recomenda-se que estudos futuros explorem a relação entre a fauna invertebrada e aspectos socioambientais.

Palavras-chave: Ecossistema costeiro. Manguezal. Artrópodes. Sinantropia.

Abstract: Mangroves are vital ecosystems for coastal protection but face anthropogenic pressures, with invertebrates serving as important bioindicators due to their sensitivity to landscape alterations. This study aimed to evaluate the composition of invertebrate macrofauna at the order level in mangrove ecosystems subject to different types of anthropogenic impact. The research was conducted in the Costa dos Corais Environmental Protection Area (APACC) in Maceió, Alagoas, in mangrove areas characterized by waste deposition, habitat fragmentation, and deforestation (Sep.–Dec. 2024 and Mar.–Jun. 2025). Provid traps were used in the plant canopies to capture invertebrates. Measurements of air temperature and humidity were performed, and Kruskal-Wallis and Spearman correlation analyses were applied. Vegetation density in the mangrove area with waste deposition contributes to reducing air temperature, favoring a higher abundance of individuals, in addition to providing shelter and food due to vegetational heterogeneity. However, sewage discharge and the accumulation of solid waste favor the proliferation of synanthropic orders (Diptera, Hymenoptera, and Blattodea). Intense human traffic in the mangrove area with habitat fragmentation inhibits the presence of macrofauna due to anthropogenic noise, affecting organism behavior and contributing to lower taxonomic group richness. The deforested mangrove area presents fewer resources, which limits invertebrate persistence, resulting in a lower number of organisms. Vegetation structure and the intensity of anthropogenic impacts modulate the composition of invertebrate macrofauna. Future studies are recommended to explore the relationship between invertebrate fauna and socio-environmental factors.

Keywords: Coastal ecosystem. Mangrove. Arthropods. Synanthropy.

1 INTRODUÇÃO

O manguezal é caracterizado pela presença de espécies vegetais adaptadas às condições de salinidade elevada (Madi *et al.*, 2016). Suas raízes contribuem para a proteção da costa, como barreira

natural frente à ação das ondas (Bulhões, 2020), e funciona como zonas de abrigo para inúmeros animais (Souza *et al.*, 2018).

Nesses ambientes habitam invertebrados da macrofauna, como Hymenoptera (Formigas, Vespas e Abelhas), Coleoptera (Besouros), dentre outros (Monteiro, 2021), que desempenham funções ecológicas fundamentais, como decomposição da matéria orgânica, dispersão de sementes e polinização (Constantino, 2024). Esses organismos também atuam como bioindicadores ambientais, pois respondem às alterações na paisagem, permitindo a avaliação da qualidade dos ecossistemas (Araújo *et al.*, 2019).

Como esse ecossistema vem enfrentando crescentes pressões associadas a impactos antropogênicos, ligadas a construção de infraestrutura e exploração indiscriminada de recursos naturais (Gomes, 2020), a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC) visa mitigar esses impactos, buscando conciliar a conservação com o uso sustentável dos recursos naturais nos ecossistemas costeiros (ICMBio, 2021).

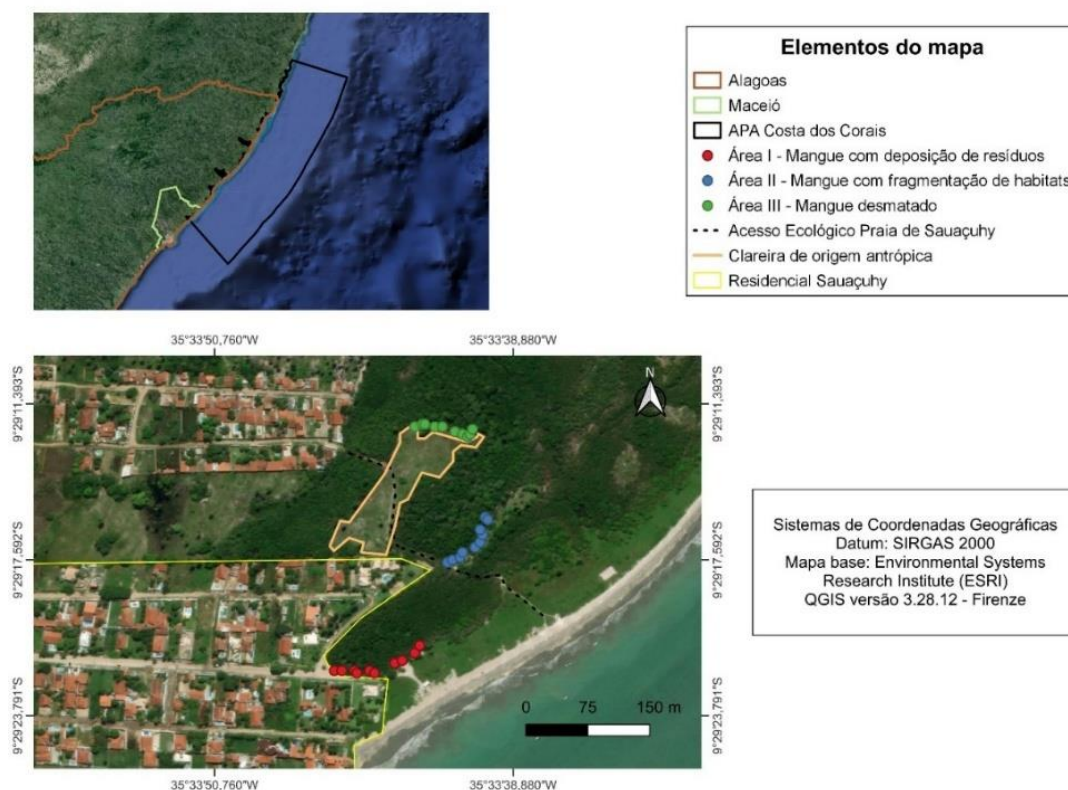
E na região sul da APACC, notadamente no município de Maceió (AL), observa-se um avanço da expansão imobiliária, resultando em diferentes tipos de interferências antrópicas, como desmatamento, queimadas e pavimentação de vias em áreas de manguezal (Instituto Biota, 2025).

Diante desse contexto, objetivou-se avaliar a composição da macrofauna invertebrada, a nível de ordem, em ecossistema manguezal com diferentes tipos de impacto antropogênico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na APACC, em três áreas de mangue localizadas no bairro Ipioca, em Maceió, Alagoas, no entorno do Residencial Sauaçuhy, sob as coordenadas geográficas: 09°29'22,0" S e 35°33'44,6" O (Área I - Mangue com deposição de resíduos), 09°29'17,7" S e 35°33'42,3" O (Área II - Mangue com fragmentação de habitats) e 09°29'12,3" S e 35°33'41,7" O (Área III - Mangue desmatado) (Figura 1).

Figura 1 – Localização das três áreas de estudo em Ipioca, Maceió, Alagoas.

Fonte: Autores, 2025.

A Área I (Mangue com deposição de resíduos) é caracterizada por um fragmento vegetal denso com presença das espécies *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) (Mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn. (Combretaceae) (Mangue branco) e *Conocarpus erectus* L. (Combretaceae) (Mangue de botão), além da presença da espécie exótica *Terminalia catappa* L. (Combretaceae) (Amendoeira), introduzida pelos moradores locais. Nessa área há acúmulo de resíduos sólidos (sacos plásticos, garrafas PET, vidros, isopor, dentre outros), descartados por moradores do Residencial Sauaçuhy e/ou transeuntes (Figura 2A).

A Área II (Mangue com fragmentação de habitats) é o ambiente com maior fragmentação devido à proximidade de múltiplos acessos, incluindo a trilha conhecida como “Acesso Ecológico Praia de Sauaçuhy” (Figura 2B), que conecta a área diretamente à praia, além de outras trilhas menores que cruzam o ambiente.

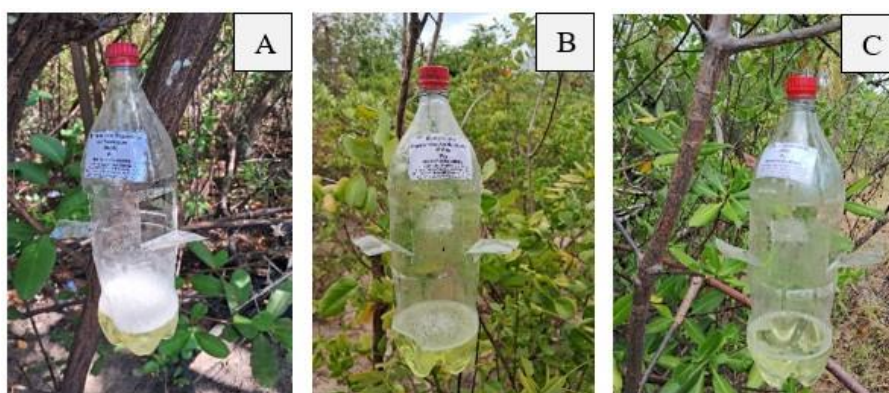
A Área III (Mangue desmatado) é caracterizada por um mangue mais maduro e predominância da espécie *R. Mangle* L. O entorno é impactado por atividades antrópicas (desmatamento e queimadas), resultando na formação de clareira (Figura 2C).

Figura 2 – Área I (A), Área II (B) e Área III (C).

Fonte: Autores, 2025.

2.2 Descrição da pesquisa

A avaliação da macrofauna foi realizada em dez (10) pontos amostrais com espaçamento de 10 m entre si, nos meses set./dez./2024 e mar./jun./2025. Para a captura dos organismos invertebrados, foram utilizadas dez (10) armadilhas Provid em cada ponto, com três aberturas de 5x5 cm, contendo 200 mL de solução composta por detergente a 5% e 12 gotas de formol P.A (Sperber; Vieira; Mendes, 2003), permanecendo em campo por um período de 96 h (Giracca *et al.*, 2003). As armadilhas foram instaladas a 1,5 m do solo (Lima Filho *et al.*, 2014), fixadas em galhos (Figuras 3A a 3C), com o intuito de amostrar a macrofauna invertebrada aérea, ou seja, organismos presentes na vegetação e/ou que se deslocam em voo entre as copas das plantas.

Figura 3 – Armadilhas Provid aérea instaladas nas Áreas I (A), II (B) e III (C).

Fonte: Autores, 2025.

No laboratório, o material coletado foi lavado em peneira de 0,25 mm, e os organismos foram armazenados em recipientes de 500 mL contendo álcool 70%, e todos os indivíduos com comprimento > 2 mm (Swift; Heal; Anderson, 1979) foram identificados a nível de ordem, seguindo a chave de identificação de Triplehorn e Johnson (2011).

Para as medições de temperatura (°C) e umidade do ar (%), utilizou-se termo-higrômetro posicionado a 1,5 m do solo, em cada ponto amostral, nas três áreas de estudo.

2.3 Análise estatística

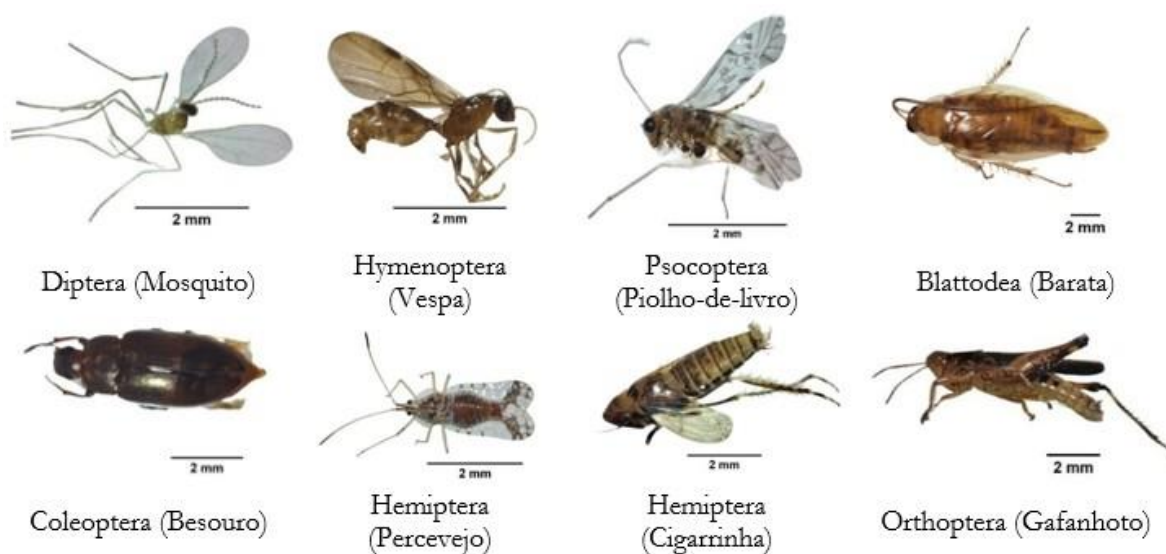
Para comparação da abundância, riqueza, temperatura e umidade do ar entre as áreas, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, e quando identificadas diferenças significativas, aplicou-se o teste post-hoc de Dunn. Foi realizada correlação de Spearman para avaliar a associação entre a abundância e riqueza da macrofauna invertebrada com a temperatura e umidade do ar. Ambas as análises foram realizadas no software RStudio versão 4.4.1 (R Core Team, 2024).

Utilizou-se o Diagrama de Sankey para visualizar a abundância dos organismos invertebrados (Bogart, 2014), e Diagrama de Venn para representar a riqueza dos grupos taxonômicos comuns e exclusivos entre as áreas, por meio da plataforma online Bioinformatics & Evolutionary Genomics (BEG, 2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 4 estão representados alguns exemplares das ordens de invertebrados da macrofauna aérea coletados nas copas das plantas.

Figura 4 – Organismos invertebrados da macrofauna aérea coletados nas áreas de estudo.

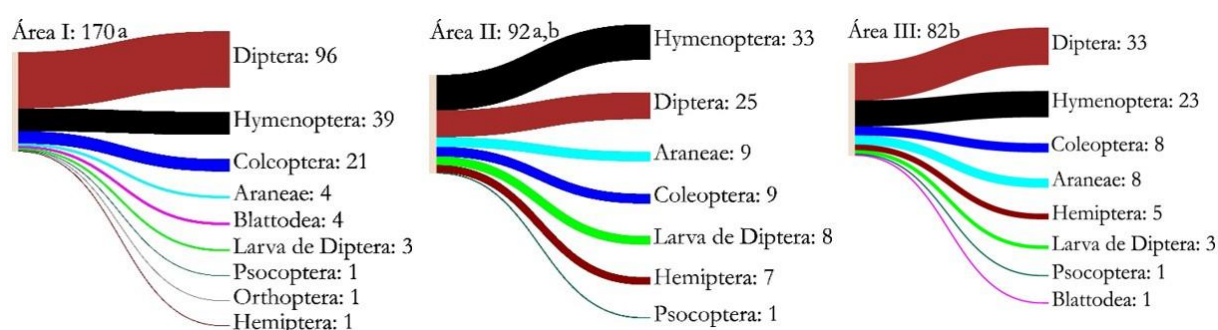


Fonte: Autores, 2025.

Foram registrados um total de 344 indivíduos, com diferenças significativas entre as áreas, conforme o teste de Kruskal-Wallis ($p = 0.0163$). A maior abundância (49,42%) foi registrada no

ambiente de mangue com deposição de resíduos, diferindo estatisticamente em relação ao mangue desmatado ($p = 0.0166$), que obteve 23,84% dos organismos. A área de mangue com fragmentação de habitats concentrou 26,74% da abundância total, não diferindo dos outros ambientes pelo Post-hoc de Dunn (Figura 5).

Figura 5 – Abundância da macrofauna pelo Diagrama de Sankey nas áreas de mangue com deposição de resíduos (Área I), fragmentação de habitats (Área II) e desmatado (Área III).



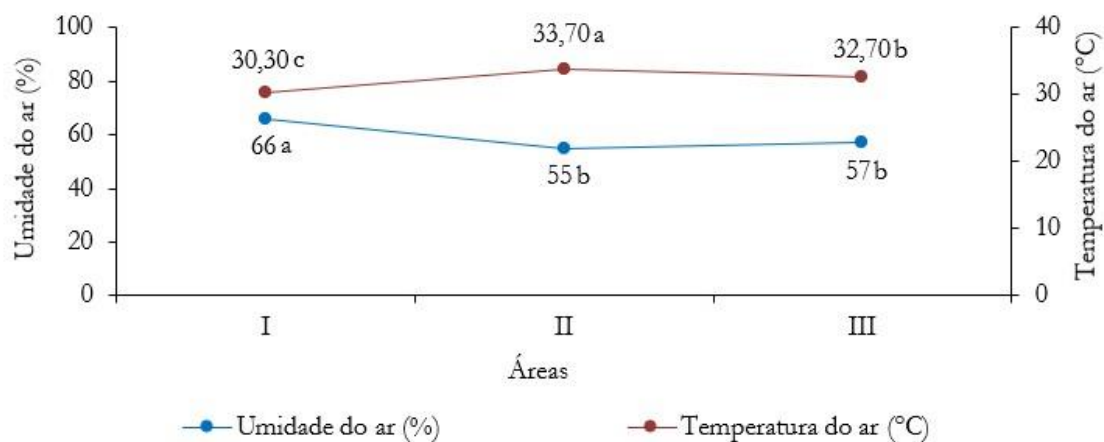
Fonte: Autores, 2025.

A heterogeneidade da vegetação observada na Área I, com uma distribuição mais equilibrada das espécies de mangue (*L. racemosa* (L.) C. F. Gaertn., *R. mangle* L. e *C. erectus* L.), contribuiu para a formação de diferentes estratos vegetativos, ampliando a oferta de abrigo, alimento e locais de pouso para os invertebrados. Além disso, a vegetação mais adensada funciona como uma barreira natural interceptando diretamente as gotas das chuvas, proporcionando um ambiente mais protegido e estável. Esta associação também é corroborada por Olivier *et al.* (2014), que apontam uma relação entre a heterogeneidade da vegetação e o aumento da abundância de invertebrados, devido à maior variedade de recursos disponíveis na paisagem. Em contraste, a Área III apresenta menor variedade vegetacional, com predomínio da espécie *R. mangle* L., o que limita a disponibilidade de recursos e microhabitats, diminuindo a permanência desses invertebrados aéreos nessa área.

A Área I diferiu significativamente das demais em relação a umidade do ar (Área II: $p = 1.28e^{-15}$; Área III: $p = 2.52e^{-8}$), enquanto a temperatura do ar apresentou diferenças entre todas as áreas (III e I: $p = 1.00e^{-5}$; III e II: $p = 0.0423$; I e II: $p = 3.65e^{-12}$), o que também pode explicar a maior abundância registrada na área de mangue com deposição de resíduos, em razão da cobertura vegetal. Segundo Peroni e Hernández (2011), o sombreamento proporcionado pela vegetação limita o aumento da temperatura, tornando o ambiente favorável para a presença dos invertebrados. Em

contraste, nas demais áreas, a vegetação apresenta maior fragmentação, além de clareira decorrentes do desmatamento, o que resultou em maior exposição do solo à radiação solar direta, com consequente aumento da temperatura do solo e redução da umidade do ar (Figura 6).

Figura 6 – Temperatura (°C) e umidade do ar (%) nas áreas de mangue com deposição de resíduos (Área I), fragmentação de habitats (Área II) e desmatado (Área III).



Fonte: Autores, 2025.

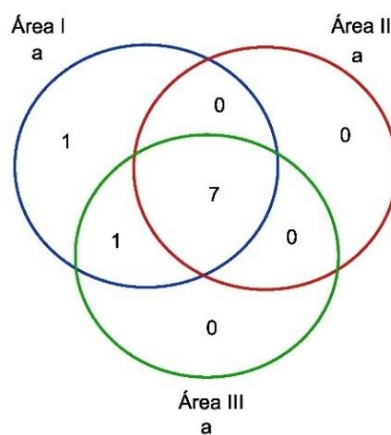
A maior abundância da ordem Diptera na Área I (56,47%) está associada à presença de lixo e esgoto, com acúmulo de água, notadamente no período chuvoso, ambiente propício para a oviposição e desenvolvimento de larvas desse inseto (Montalvo *et al.*, 2022). Essas mesmas condições também favoreceram a presença da ordem Blattodea, em razão da sua elevada mobilidade e comportamento exploratório. De acordo com Fox (2011), as baratas apresentam alta tolerância a ambientes poluídos e conseguem explorar habitats desfavoráveis a outros invertebrados mais sensíveis. Esses fatores explicam a maior abundância de mosquitos e baratas na Área I, ambos considerados organismos sinantrópicos, ou seja, adaptados a viver em ambientes urbanos e degradados sob influência direta das atividades humanas (Souza; Santos, 2021).

Já a alta presença dos himenópteros é devido sua organização social, ocupando diferentes nichos, mesmo em ambientes sujeitos a degradação (Violante; Lira, 2022). Ao demonstrar elevada tolerância a variações microclimáticas, podem estabelecer suas colônias tanto no solo quanto em vegetação (Melo; Molin, 2024), o que contribuiu para sua marcante presença nas três áreas de mangue.

A riqueza atingiu 9 (nove) grupos taxonômicos, e todos presentes na área de mangue com deposição de resíduos, 8 (oito) no mangue desmatado e 7 (sete) no mangue com fragmentação de habitats. Foram observados 7 (sete) grupos comuns entre as áreas (Hymenoptera, Diptera, Araneae, Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

Coleoptera, Larva de Diptera, Hemiptera e Psocoptera) e 1 (um) exclusivo da Área I (Orthoptera), e o grupo Blattodea foi comum entre as Áreas I e III. Conforme o teste de Kruskal-Wallis, não houve diferença significativa entre as áreas ($p = 0.3129$) (Figura 7).

Figura 7 – Riqueza da macrofauna analisada pelo Diagrama de Venn nas áreas de mangue com deposição de resíduos (Área I), fragmentação de habitats (Área II) e desmatado (Área III).

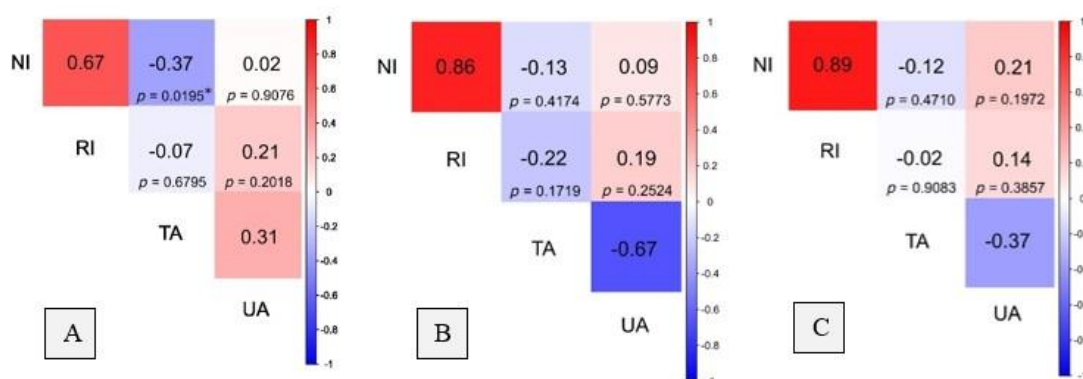


Fonte: Autores, 2025.

De modo geral a riqueza não oscilou muito entre os ambientes, sendo menor na Área II, que apresenta intensa circulação de pessoas pelas trilhas que cortam a área, o que pode ter afugentado os invertebrados aéreos do acesso e/ou pouso nas armadilhas, comprometendo a captura. Segundo Rodríguez, Tinghitella e Finn (2021), as atividades humanas podem gerar ruídos antropogênicos, que afugentam os artrópodes e afetam seu comportamento e interações ecológicas. Para Freire (2025), a presença de ruídos antropogênicos leva determinadas espécies a evitar certas áreas, o que pode alterar a composição e a estrutura da comunidade biológica. Assim, a intensa circulação de pessoas nessa área atua como um fator de impacto adicional, limitando o estabelecimento e a permanência dos invertebrados.

Pelo teste de Spearman houve correlação negativa significativa da abundância e temperatura do ar na área de mangue com deposição de resíduos ($r = -0.37$; $p = 0.0195$) (Figura 8A), demonstrando que a maior abundância da macrofauna estão associadas a temperaturas do ar mais amenas, uma vez que o ar menos quente favorece a atividade desses invertebrados, tornando-os mais ativos. E não houve correlação significativa da abundância e riqueza com temperatura e umidade do ar nas Áreas II e III (Figuras 8B e 8C), sugerindo que outros fatores, como a estrutura da vegetação, a disponibilidade de recursos no ambiente ou o tipo de impacto antropogênico, exercem maior influência na distribuição dos invertebrados nessas áreas.

Figura 8 – Estimativas de correlação de Spearman da abundância (NI) e riqueza (RI) da macrofauna relacionadas com temperatura do ar (TA °C) e umidade do ar (UA %) nas Áreas I (A), II (B) e III (C).



Fonte: Autores, 2025.

4 CONCLUSÃO

A área de mangue com deposição de resíduos se sobressai em relação a abundância e riqueza da macrofauna invertebrada, em razão da densa cobertura vegetal, que além de proporcionar sombreamento e favorecer a presença dos organismos, oferece maior disponibilidade de alimento e abrigo devido à sua heterogeneidade vegetal. Entretanto, os impactos antropogênicos nessa área, como o lançamento de esgoto e o descarte inadequado de resíduos, contribuem para a proliferação de ordens sinantrópicas, como Diptera, Hymenoptera e Blattodea.

A área de mangue com fragmentação de habitats apresenta menor riqueza de grupos taxonômicos, em virtude da circulação constante de transeuntes pelas trilhas de acesso ao mar, que gera ruídos antropogênicos capazes de interferir no comportamento e interações ecológicas dos invertebrados, comprometendo a ocorrência de organismos mais sensíveis.

A menor abundância da macrofauna ocorre na área de mangue desmatado, por ser menos atrativa aos organismos em razão da baixa heterogeneidade vegetal, que limita a disponibilidade de recursos e fontes de alimento, com predomínio de *R. Mangle* L., o que reduz a variedade de abrigos e microhabitats, aspectos que dificultam a permanência e a atividade dos invertebrados.

A composição da macrofauna invertebrada revelou-se um indicador de qualidade ambiental, influenciada pelas características estruturais da vegetação e pela intensidade das alterações antrópicas no ambiente, resultando em variações nos níveis de abundância e riqueza taxonômica entre as áreas estudadas. Diante dos diferentes tipos de impactos antropogênicos observados nas áreas de manguezal, reforça-se a necessidade da intensificação do monitoramento na APACC. Recomenda-se que pesquisas futuras explorem de forma integrada a relação entre a fauna invertebrada e aspectos socioambientais, de modo a subsidiar estratégias de manejo mais eficazes para a conservação desse ecossistema.

Agradecimentos

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. C. S. *et al.* Entomofauna da Área de Proteção Ambiental Morros Garapenses: conhecimento e educação ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Recife, v. 7, n. 2, p. 50-60, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3524765>

BEG. BIOINFORMATICS & EVOLUTIONARY GENOMICS. **Calculate and draw custom Venn diagrams**. 2025. Disponível em: <https://bioinformatics.psb.ugent.be/webtools/Venn>. Acesso em: 08 jul. 2025.

BOGART, S. **Sample diagrams & starting points**. 2014. Disponível em: <https://sankeymatic.com/build>. Acesso em: 07 jul. 2025.

BULHÕES, E. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.). **Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. 1. ed. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 655-688. Disponível em: https://inct.furg.br/images/livro_Geografia_Marinha_PGGM_ABEQUA_2020.pdf

CONSTANTINO, R. A importância dos insetos. *In*: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. 2. ed. Manaus: INPA, 2024. p. 109-113.

FOX, E. **Nojentas, mas úteis**. 2011. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/nojentas-mas-uteis>. Acesso em: 01 ago. 2025.

FREIRE, N. Como a poluição sonora afecta os ecossistemas. 2025. Disponível em: https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/como-poluicao-sonora-afecta-ecossistemas-vida-selvagem_5056. Acesso em: 01 ago. 2025

GIRACCA, E. M. N. *et al.* Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia de Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 257-261, jul./set. 2003. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/604>

GOMES, B. A. C. Análise dos impactos ambientais ocorridos pela ocupação irregular no manguezal do estuário do Rio Ceará - Fortaleza, CE. **Ensaios de Geografia**, Niterói, v. 6, n. 11, p. 28-54, maio/ago. 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/7484/748481107001.pdf>

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais**. 1. ed. Tamandaré: ICMBio, 2021. 85 p. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de>

[ucs/apa-da-costa-dos-corais/informacoes-da-unidade-de-conservacao/plano-de-manejo/arquivos-1/plano_de_manejo-1.pdf](https://apa-da-costa-dos-corais/informacoes-da-unidade-de-conservacao/plano-de-manejo/arquivos-1/plano_de_manejo-1.pdf)

INSTITUTO BIOTA. **Relatório de monitoramento**. 2025. Disponível em: <https://www.institutobiota.org.br/nossas-aco-es/projeto-mangue-vivo-32>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LIMA FILHO, J. A. de *et al.* Captura de insetos utilizando um novo modelo de armadilha com garrafa pet em uma área do IFPB Campus Campina Grande, PB. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 8, n. 1, p. 74-79, jun. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/18072>

MADI, A. P. L. M. *et al.* Estrutura do componente de regeneração natural e arbóreo de dois manguezais no estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-170, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509821100>

MELO, G. A. R.; MOLIN, A. D. Hymenoptera Linnaeus, 1758. *In*: RAFAEL, J. A. *et al.* (eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. 2. ed. Manaus: INPA, 2024. p. 484-545.

MONTALVO, T. *et al.* Effectiveness of the modification of sewers to reduce the reproduction of *Culex pipiens* and *Aedes albopictus* in Barcelona, Spain. **Pathogens**, Basel, v. 11, n. 4, p. 1-7, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11040423>

MONTEIRO, G. S. **Ocorrência dos grupos taxonômicos Hymenoptera e Coleoptera no Ecossistema Mangue, em Marechal Deodoro, Alagoas**. 2021. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/10349>

OLIVIER, R. S. *et al.* Effects of environmental heterogeneity on the composition of insect trophic guilds. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 12, n. 1, p. 209-220, jul. 2014. Disponível em: https://www.aloki.hu/pdf/1201_209220.pdf

PERONI, N.; HERNÁNDEZ, M. I. M. **Ecologia de populações e comunidades**. 1. ed. Florianópolis: CCB/EAD/UFSC, 2011. 123 p. Disponível em: <https://antigo.uab.ufsc.br/biologia/files/2020/08/Ecologia-de-Populações-e-Comunidades.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2025.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 29 jul. 2025.

RODRÍGUEZ, L. C.; TINGHITELLA, R.; FINN, K. F. Anthropogenic noise affects insect and arachnid behavior, thus changing interactions within and between species. **Current Opinion in Insect Science**, Amsterdam, v. 47, n. 5, p. 142-153, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.06.005>

SOUZA, M. T. de; SANTOS, M. G. Diversidade de artrópodes sinantrópicos e sua influência na saúde ambiental no Curimataú paraibano. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 8, p. 77723-77738, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-130>

SOUZA, C. A. *et al.* Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. *In*: PINHEIRO, M. A. A.; TALAMONI, A. C. B. (orgs.). **Educação ambiental sobre manguezais**. 1. ed. São Vicente: UNESP, 2018. p. 16-56. Disponível em: <https://www.clp.unesp.br/Home/publicacoes/educacao-ambiental-sobre-manguezais.pdf>

SPERBER, C. F.; VIEIRA, G. H.; MENDES, M. H. Improving litter cricket (Orthoptera: Gryllidae) sampling with pitfall traps. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 733-735, out./dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000400030>

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems: studies in ecology**. 5. ed. Oxford: Blackwell Scientific, 1979. 238 p.


TRIPLEHORN, C. A.; JONNISON, N. F. **Estudo dos insetos**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809 p.

VIOLANTE, G. M.; LIRA, P. K. Efeitos da fragmentação de habitat sobre formigas (Hymenoptera: Formicidae) em paisagens urbanas. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 531-546, out./dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2604.02>




CAPÍTULO 11

DEGRADAÇÃO E PERCEPÇÃO AMBIENTAL: O RETRATO DA POLUIÇÃO NA LAGUNA MANGUABA – ALAGOAS

ENVIRONMENTAL DEGRADATION AND PERCEPTION: THE PORTRAIT OF POLLUTION IN THE MANGUABA LAGOON – ALAGOAS

Nayara Barreto da Costa   

Estudante de doutorado em Ciência do Sistema Terrestre,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP, Brasil

Nataniely de Farias Nogueira   




Tecnóloga em Laticínios, Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Maceió-AL, Brasil

Everson de Oliveira Santos   

Estudante de doutorado em Geografia, Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió-AL, Brasil

Rayanne Santos de Almeida Mendonça   




Estudante de doutorado em Geografia, Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió-AL, Brasil

José Marcelo Lopes Júnior   


Doutor em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),
Tecnologista, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília-DF, Brasil

Amanda Vieira da Silva Lima   

Graduada em Matemática, Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió-AL, Brasil

Lorrany Barreto da Costa   

Estudante de graduação em Química, Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió-AL, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1161 

Resumo: A urbanização tem provocado intensas transformações nas paisagens naturais, especialmente sobre os recursos hídricos. Nesse contexto, torna-se fundamental analisar a degradação ambiental em ambientes de elevada relevância ecológica e social, como a Laguna Manguaba, localizada no município de Pilar, estado de Alagoas. Integrante do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), esse ecossistema desempenha papel essencial na manutenção da biodiversidade e na subsistência das comunidades ribeirinhas. O presente estudo tem como objetivo evidenciar os principais aspectos da degradação ambiental na Laguna Manguaba, por meio da análise interpretativa de registros fotográficos, contribuindo para a compreensão das transformações antrópicas que afetam o ecossistema lagunar. A pesquisa possui abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada na observação direta e na fotografia ambiental como principais instrumentos de coleta e análise. As atividades envolveram trabalho de campo, registro fotográfico e interpretação das imagens a partir da leitura crítica da paisagem. Os resultados revelam a presença significativa de resíduos sólidos, lançamento de efluentes domésticos e industriais, além de processos de assoreamento que comprometem a qualidade da água e a integridade ecológica da laguna. As imagens traduzem visualmente o conflito entre o modo de vida ribeirinho e os impactos das ações antrópicas, evidenciando a fragilidade da gestão ambiental. Conclui-se que a mitigação dos impactos identificados requer políticas públicas integradas, associadas à educação ambiental e à sensibilização social, de modo a promover o uso sustentável dos recursos hídricos e a preservação do ecossistema lagunar.

Palavras-chave: Paisagem urbana. Poluição ambiental. Recursos hídricos.

Abstract: Urbanization has caused intense transformations in natural landscapes, especially regarding water resources. In this context, it becomes fundamental to analyze environmental degradation in environments of high ecological and social relevance, such as the Manguaba Lagoon, located in the municipality of Pilar, state of Alagoas. Part of the Mundaú-Manguaba Estuarine-Lagoon Complex (CELMM), this ecosystem plays an essential role in maintaining biodiversity and the subsistence of riverside communities. This study aims to highlight the main aspects of environmental degradation in the Manguaba Lagoon through the interpretative analysis of photographic records, contributing to the understanding of the anthropogenic transformations affecting the lagoon ecosystem. The research has a qualitative approach, of an exploratory and descriptive nature, based on direct observation and environmental photography as the main instruments of data collection and analysis. The activities involved fieldwork, photographic recording, and interpretation of the images based on a critical reading of the landscape. The results reveal a significant presence of solid waste, discharge of domestic and industrial effluents, as well as siltation processes that compromise water quality and the ecological integrity of the lagoon. The images visually convey the conflict between the riverside way of life and the impacts of human activities, highlighting the fragility of environmental management. It is concluded that mitigating the identified impacts requires integrated public policies, associated with environmental education and social awareness, in order to promote the sustainable use of water resources and the preservation of the lagoon ecosystem.

Keywords: Urban landscape. Environmental pollution. Water resources.

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana e o crescimento populacional têm provocado intensas transformações nas paisagens naturais, sobretudo em áreas próximas a corpos hídricos, onde as pressões antrópicas

se manifestam de forma mais evidente. A ocupação desordenada das margens, o descarte inadequado de resíduos e a ausência de infraestrutura de saneamento refletem a fragilidade do planejamento urbano e ambiental. Essa realidade é especialmente preocupante nas comunidades ribeirinhas, que dependem diretamente dos recursos hídricos para o consumo, a pesca e outras atividades cotidianas. Nessas áreas, a degradação ambiental não se limita à dimensão ecológica, mas também repercute nas condições de vida da população local, manifestando-se ainda por meio da poluição visual, resultante do acúmulo de resíduos e da descaracterização da paisagem natural. Esse conjunto de fatores evidencia um cenário de vulnerabilidade socioambiental e de comprometimento dos ecossistemas aquáticos (Gomes e Medeiros, 2019; Santos, 2022).

A compreensão desses processos exige refletir sobre o conceito de degradação ambiental e sobre a forma como o ser humano percebe e interpreta as transformações do meio. A degradação ambiental pode ser entendida como o conjunto de alterações negativas que comprometem o equilíbrio e a qualidade do meio ambiente. De acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, o termo é definido no artigo 3º, inciso II, como “a alteração adversa das características do meio ambiente” (Brasil, 2025). Trata-se, portanto, de um processo de adversidade, no qual as ações humanas provocam impactos que reduzem a capacidade do ambiente em manter suas funções ecológicas e a qualidade de vida das populações que dele dependem. Nesse sentido, a percepção ambiental contribui para reconhecer essas alterações e compreender suas causas, pois envolve uma leitura cognitiva e sensorial do espaço que revela o estado de conservação ou degradação do ambiente (Machioski *et al.*, 2015; Krzysczak, 2016; Carmacio-Junior, Rodrigues e Figueiredo, 2016; Oliveira, 2020).

Nesse contexto, torna-se fundamental analisar a degradação ambiental em ambientes de alta relevância ecológica e social, como a Laguna Manguaba, localizada no município de Pilar, estado de Alagoas. Integrante do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), esse sistema representa um dos ecossistemas mais importantes do litoral alagoano, desempenhando papel essencial na manutenção da biodiversidade e na subsistência de comunidades ribeirinhas. Contudo, nas últimas décadas, a intensificação das atividades humanas em seu entorno, incluindo ocupações irregulares, lançamento de efluentes e deposição de resíduos sólidos, tem agravado os processos de degradação ambiental e descaracterização paisagística (Wanderley *et al.*, 2020). Diante disso, o presente estudo tem como objetivo evidenciar os principais aspectos da degradação ambiental na Laguna Manguaba, por meio de registros fotográficos interpretativos, de modo a contribuir para a compreensão das transformações antrópicas que afetam o ecossistema lagunar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

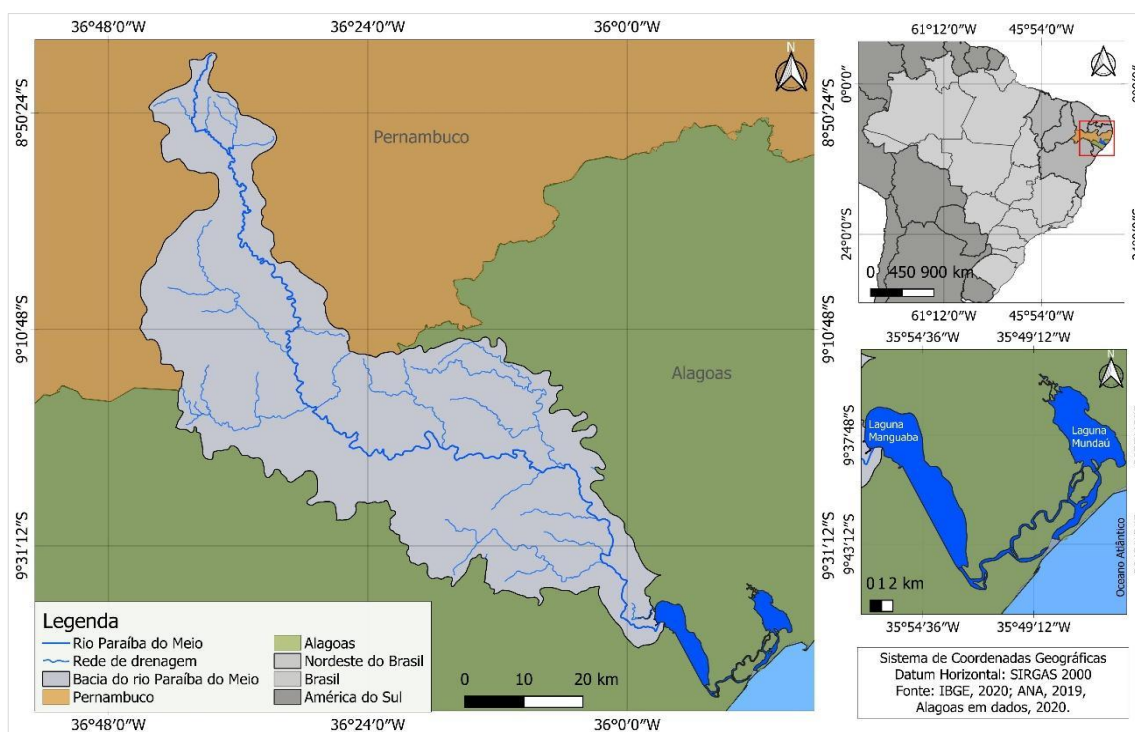
2.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa possui abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada na observação direta e na fotografia ambiental como principais instrumentos de coleta e análise. Busca-se compreender os processos de degradação na Laguna Manguaba por meio da interpretação visual da paisagem, articulando registros fotográficos e observações de campo. A fotografia é empregada como recurso metodológico capaz de expressar visualmente os impactos ambientais e ampliar a percepção crítica sobre as transformações antrópicas. Segundo Nobre (2011), a fotografia ultrapassa o caráter ilustrativo e se consolida como instrumento de representação simbólica e sociocultural, favorecendo novas formas de compreender o ambiente e estimular a consciência ambiental.

2.2 Área de Estudo

A área de estudo corresponde a Laguna Manguaba, no trecho localizado no município de Pilar, estado de Alagoas. Essa laguna constitui a foz do rio Paraíba do Meio e integra o Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), um dos principais sistemas estuarinos do litoral alagoano (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo, Laguna Manguaba, município de Pilar – Alagoas.



Fonte: Autores, 2025.

O CELMM é formado pelas lagunas Mundaú e Manguaba, que recebem contribuições hídricas de diversos afluentes e convergem em direção ao oceano Atlântico, configurando um ambiente de elevada produtividade biológica. A Laguna Manguaba, em particular, desempenha papel essencial na dinâmica ambiental e social da região, sendo utilizada para pesca artesanal, transporte, lazer e outras atividades que garantem o sustento das comunidades ribeirinhas. Entretanto, nas últimas décadas, tem sofrido com a intensificação das pressões antrópicas, especialmente o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o acúmulo de resíduos sólidos e o processo de assoreamento, os quais comprometem a qualidade da água e a integridade do ecossistema lagunar (Wanderley *et al.*, 2020).

2.3 Metodologia da pesquisa

A metodologia adotada compreendeu etapas teóricas e práticas, envolvendo trabalho de campo, registro fotográfico e análise interpretativa das imagens (Quadro 1):

Quadro 1 – Etapas metodológicas do trabalho.

Atividade	Descrição
Atividade de campo	O trabalho de campo foi realizado no dia 13 de setembro de 2025, no período da tarde, na área da Laguna Manguaba situada no município de Pilar - Alagoas. A atividade consistiu na realização de registros fotográficos e observação direta da paisagem, com o objetivo de identificar evidências visuais de degradação ambiental. Participaram da coleta dois integrantes da equipe autora deste estudo, que percorreram pontos acessíveis das margens da laguna, observando e documentando situações de poluição, acúmulo de resíduos sólidos, alterações na vegetação e impactos sobre o ecossistema local. As fotografias obtidas constituem o principal material empírico da pesquisa, servindo como base para a análise visual e interpretativa dos processos de degradação ambiental.
Registros fotográficos	Os registros fotográficos foram realizados com o uso de uma câmera digital e de um aparelho celular de alta resolução, buscando captar de forma nítida e expressiva os diferentes aspectos da degradação ambiental na Laguna Manguaba. O registro das imagens teve como objetivo evidenciar os impactos decorrentes das ações antrópicas sobre o ecossistema lagunar, ressaltando situações que comprometem sua integridade ambiental e paisagística.
Seleção e catalogação das imagens	As fotografias foram organizadas e classificadas conforme os tipos de degradação observados, considerando categorias como presença de resíduos sólidos, lançamento de esgoto e assoreamento. Esse processo objetivou estruturar um acervo visual capaz de expressar a denúncia dos impactos ambientais, evidenciando a dimensão e a diversidade

	dos problemas detectados. A catalogação permitiu identificar padrões recorrentes de poluição e degradação, além de destacar elementos simbólicos que revelam a relação conflituosa entre as atividades humanas e o ambiente lagunar.
Análise interpretativa	A análise das imagens foi fundamentada na narrativa visual, considerando aspectos estéticos, simbólicos e ambientais. As fotografias foram interpretadas como documentos visuais, compreendidas não apenas como registros ilustrativos, mas como representações simbólicas capazes de revelar as transformações espaciais e de suscitar reflexões acerca da responsabilidade humana no processo de degradação da Laguna Manguaba.
Apresentação dos resultados	Os resultados foram sistematizados a partir da análise interpretativa das imagens registradas em campo, as quais evidenciam diferentes manifestações da degradação ambiental na Laguna Manguaba. As fotografias selecionadas ilustram os principais impactos observados e são acompanhadas por descrições sintéticas que reforçam seu caráter analítico e comunicativo. Essa abordagem busca integrar o potencial expressivo da fotografia à reflexão científica, contribuindo para o entendimento das dinâmicas de degradação e para a sensibilização quanto à necessidade de preservação do ecossistema lagunar.

Fonte: Autores, 2025.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras a seguir ilustram diferentes trechos das margens da Laguna Manguaba, registradas durante o trabalho de campo, evidenciando aspectos visuais relacionados às condições ambientais locais e aos indícios de degradação observados. A Figura 1 destaca a presença de resíduos sólidos e instrumentos de subsistência nas margens da Laguna Manguaba.

Figura 1 – Poluição por resíduos sólidos na zona ribeirinha da Laguna Manguaba.

Fonte: Autores, 2025.

A Figura 1 (a, b, c, d, e, f) evidenciam a presença de resíduos sólidos às margens da Laguna Manguaba, incluindo pneus descartados, garrafas de plástico e outros materiais não biodegradáveis, refletindo o uso inadequado do espaço e a ausência de manejo ambiental efetivo. Embora a presença de canoas revele a continuidade das práticas tradicionais de pesca, também simboliza a coexistência entre atividade humana e degradação ambiental. Essa justaposição de elementos (lixo e instrumentos de subsistência) traduz visualmente o conflito entre o modo de vida ribeirinho e o impacto das ações antrópicas sobre o ecossistema lagunar, indicando a fragilidade da gestão ambiental e a necessidade de políticas voltadas à sensibilização e ao uso sustentável dos recursos

Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

hídricos. Tais aspectos relacionam-se diretamente à disposição inadequada de resíduos sólidos, uma das principais formas de degradação identificadas na Laguna Manguaba. De acordo com estudos realizados na região, a poluição por resíduos, aliada à ocupação desorganizada do entorno e à baixa efetividade das ações de fiscalização e biomonitoramento ambiental, tem contribuído para o agravamento da degradação da laguna, comprometendo suas funções ecológicas e paisagísticas (Wanderley *et al.*, 2020).

A Figura 2 (a, b, c e d) evidencia o despejo de efluentes domésticos e possivelmente industriais, contendo resíduos oleosos, diretamente na Laguna Manguaba, indicando a ausência de tratamento adequado e o comprometimento da qualidade das águas do ecossistema.

Figura 2 - Lançamento de esgoto e presença de óleo na superfície da água.



Fonte: Autores, 2025.

Esse cenário consiste em um processo de degradação ambiental consequente de uma urbanização desprovida de um instrumento de política urbana eficaz e, sobretudo, sem preocupação com a sustentabilidade. Nota-se que o próprio sistema de esgoto, incipiente, é antigo e não tem manutenção de infraestrutura por parte do poder público local, acrescentando também lixo jogados pela própria população. Mediante esse contexto, Rebouças (2002, p. 78) destaca que “a degradação dos recursos hídricos está diretamente associada à ausência de políticas eficazes de

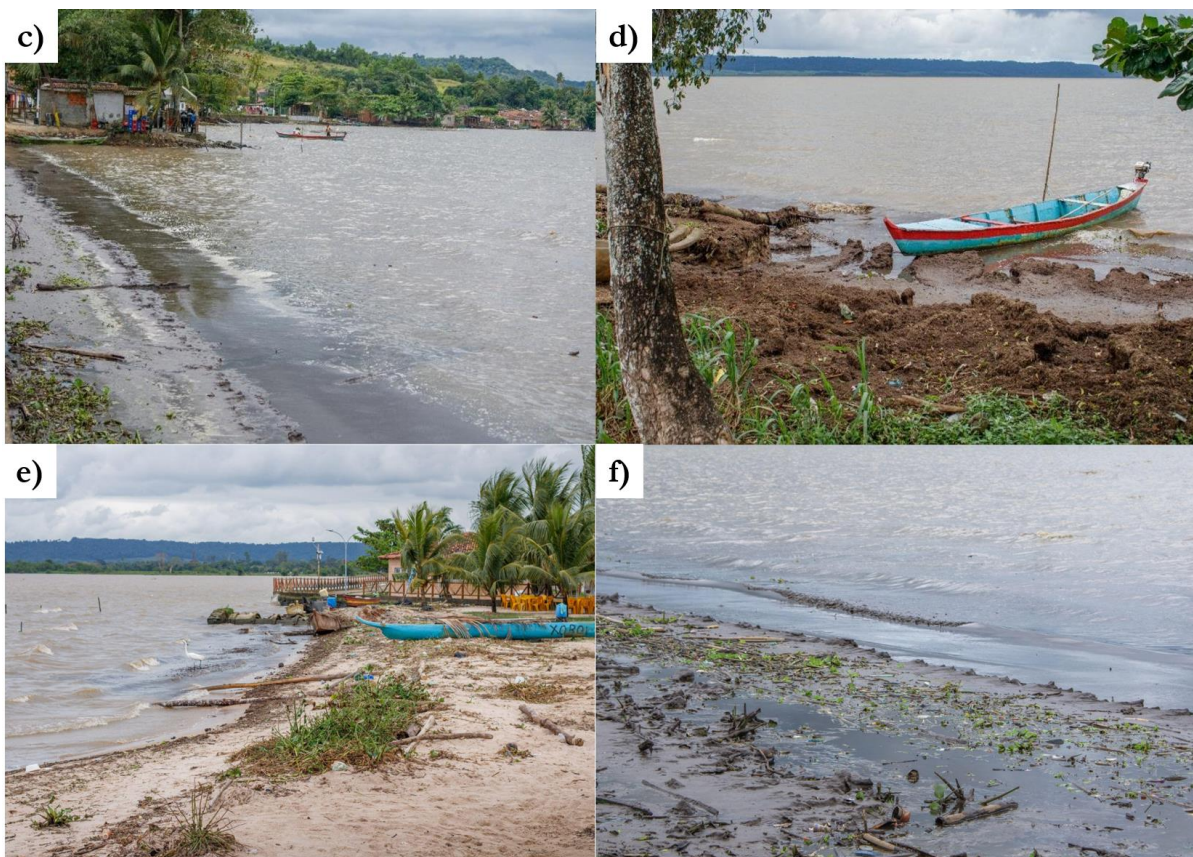
Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

saneamento básico e ao uso inadequado do solo urbano e rural”. Toda essa conjuntura socioambiental acaba por provocar a alteração da qualidade da água (poluição e contaminação) no ecossistema aquático e, por sua vez, influi negativamente e diretamente em variados aspectos, tais como pesca, turismo local, saúde humana, dentre outros fatores.

A Figura 3 (a, b, c, d, e, f) destaca o processo de assoreamento na Laguna Manguaba, evidenciando a fragmentação da mata ciliar, com trechos que ainda preservam resquícios de vegetação e outros que revelam intenso grau de degradação. Esse cenário reflete a perda da cobertura vegetal marginal e o consequente aumento da vulnerabilidade do ecossistema lagunar à erosão e ao acúmulo de sedimentos (Santos, 2022).

Figura 3 – Processo de assoreamento na Laguna Manguaba.





Fonte: Autores, 2025.

A existência de assoreamentos evidencia algo além da baixa vazão. Tem relação também com a pressão antrópica que desmatou a vegetação ciliar e isso, por sua vez, acaba por influenciar na mudança da dinâmica sedimentológica, visto que aumenta os processos erosivos nas vertentes. Segundo Guerra (2011, p. 58) “a erosão dos solos, ao ser intensificada pela ação humana, resulta no aumento do aporte de sedimentos para os cursos fluviais, provocando o assoreamento e a consequente diminuição da capacidade de escoamento e armazenamento de água”. Tem-se também outros ecossistemas aquáticos que tem conexão direta com a laguna Manguaba e que sofre com o mesmo problema da pressão antrópica e alteração da dinâmica sedimentológica e acabam, assim, introduzindo um aporte maior de sedimentos na referida laguna.

As implicações socioambientais são uma redução da lâmina d’água e da profundidade da laguna; suscetibilidade maior de inundações e enchentes que afetam comunidades ribeirinhas; a biodiversidade aquática também é afetada, pois com a redução da lâmina d’água ocorre o aumento da temperatura da água e, conseqüentemente, afeta o nível de oxigênio dissolvido; e a navegação turística e/ou econômica é prejudicada.

4 CONCLUSÃO

O estudo permitiu evidenciar que a Laguna Manguaba, especialmente em seu trecho localizado no município de Pilar, apresenta sinais expressivos de degradação ambiental associados à disposição inadequados de resíduos sólidos e à ocupação desordenada de suas margens. As análises visuais revelaram o contraste entre a dinâmica de subsistência das comunidades ribeirinhas e os impactos gerados pelas ações antrópicas, refletindo um cenário de vulnerabilidade socioambiental. A utilização da fotografia ambiental mostrou-se um instrumento eficaz para interpretar criticamente as transformações na paisagem, traduzindo de forma simbólica e científica as interações entre sociedade e natureza. Assim, conclui-se que a mitigação dos impactos identificados depende da implementação de políticas públicas integradas de gestão ambiental, educação e sensibilização comunitária, capazes de promover o uso sustentável dos recursos hídricos e a valorização do ecossistema lagunar como patrimônio natural e sociocultural.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 166809/2023-3) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL, processo nº 60030.0000001131/2025) pelo financiamento de bolsas de doutorado vinculadas ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília: 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 5 nov. 2025.
- CARMACIO-JUNIOR, I.; RODRIGUES, D. F.; FIGUEIREDO, L. A. V. Percepção ambiental e narrativas visuais da transformação da paisagem e suas relações com o turismo na Ilha Comprida (SP). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v. 8, n. 5, p. 634–651, nov. 2015–jan. 2016.
- GOMES, R. R. P.; MEDEIROS, W. D. de A. Percepção da poluição visual no centro urbano de Mossoró/RN. **GeoTemas**, Pau dos Ferros, v. 9, n. 1, p. 49–69, jan./abr. 2019.
- GUERRA, A. T. **Erosão e conservação dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- KRZYSCZAK, F. R. As diferentes concepções de meio ambiente e suas visões. **Revista de Educação do IDEAU**, [S. l.], v. 11, n. 23, jun. 2016. Disponível em: https://www.bage.ideau.com.br/wp-content/files/mf/9c9c1925f63120720408c5260bb0080d355_1.pdf. Acesso em: 2 nov. 2025.

MACHIOSKI, K. C. *et al.* Percepção ambiental e estudo do meio para experiências em educação ambiental. In: **XII Congresso Nacional de Educação – EDUCERE; V Seminário Internacional sobre Profissionalização Docente**, 2015. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/18021_9904.pdf. Acesso em: 1 nov. 2025.

NOBRE, I. M. Informação fotográfica, cultura e sociedade. **Discursos Fotográficos**. Londrina, v. 7, n. 10, p. 107-126, jan./jun. 2011.

OLIVEIRA, G. R. C. de. **Poluição visual e percepção da paisagem urbana com edificações históricas: uma análise a partir do movimento ocular (Eye-tracking)**. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2020.

REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2002.



SANTOS, U. F. N. **Percepção sobre degradação ambiental dos moradores de uma área próxima ao Rio das Balsas, Maranhão**. 2022. 47 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Maranhão, Campus Universitário de Balsas, Balsas – MA, 2022.

WANDERLEY, A. *et al.* Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba: caracterização da matéria orgânica natural e interação com íons Hg^{2+} . **Química Nova**, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 206–211, 2020. DOI: [10.21577/0100-4042.20170489](https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170489).

CAPÍTULO 12

VARIABILIDADE E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NO RESERVATÓRIO TAPEROÁ, SEMIÁRIDO PARAIBANO

CLIMATE VARIABILITY AND TRENDS IN THE TAPEROÁ RESERVOIR,
PARAÍBA SEMI-ARID REGION

Nayara Barreto da Costa   


Doutoranda em Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),
São José dos Campos-SP, Brasil

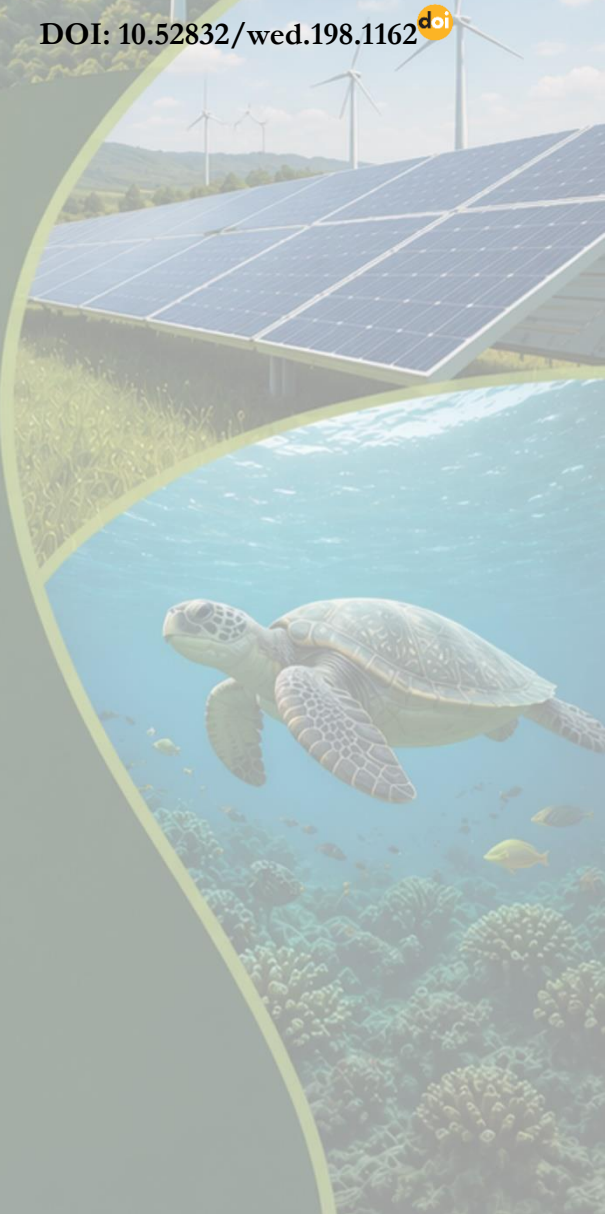
Clara Galacho Leal   

Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP),
Santos-SP, Brasil

Jean Pierre Ometto   

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Impactos, Adaptação e
Vulnerabilidades (DIIAV), São José dos Campos-SP, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1162 



Resumo: As mudanças climáticas têm intensificado a variabilidade dos regimes atmosféricos em regiões semiáridas, afetando de forma desigual a disponibilidade hídrica e o funcionamento de reservatórios, que operam simultaneamente como infraestruturas técnicas e territórios de disputa socioambiental. O presente estudo analisa a variabilidade temporal e as tendências de longo prazo de variáveis climáticas associadas ao reservatório Taperoá, no semiárido brasileiro, no período de 1981 a 2023. Este ambiente é um sistema sensível à interação entre clima, operação e demanda hídrica. Assim, foram avaliadas séries temporais de precipitação, temperatura média do ar, umidade relativa e evapotranspiração, por meio de estatística descritiva e do teste não paramétrico de Mann-Kendall, com a magnitude das tendências estimada pelo coeficiente de Sen, reconhecendo-se os limites e incertezas inerentes a séries históricas longas. Os resultados indicam elevada variabilidade interanual da precipitação e ausência de tendências estatisticamente significativas para precipitação e evapotranspiração, evidenciando a instabilidade estrutural do regime pluviométrico regional. Em contraste, a temperatura média anual apresentou tendência positiva significativa, enquanto a umidade relativa mostrou tendência negativa, configurando condições atmosféricas progressivamente mais secas. Esses sinais combinados revelam que, mesmo sem redução significativa das chuvas, o sistema torna-se mais vulnerável, com intensificação do estresse hídrico e potencial comprometimento dos processos ecológicos do reservatório. O estudo demonstra que análises climáticas de longo prazo não apenas descrevem padrões, mas tensionam escolhas históricas de uso da água, reforçando o papel do conhecimento científico como instrumento crítico para enfrentar, e não apenas administrar, os riscos climáticos no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Semiárido brasileiro. Precipitação. Clima.

Abstract: Climate change has intensified the variability of atmospheric regimes in semi-arid regions, unevenly affecting water availability and the functioning of reservoirs, which operate simultaneously as technical infrastructures and as territories of socio-environmental dispute. This study analyzes the temporal variability and long-term trends of climatic variables associated with the Taperoá reservoir, located in the Brazilian semi-arid region, over the period from 1981 to 2023. This environment is understood as a system sensitive to the interaction between climate conditions, reservoir operation, and water demand. Accordingly, time series of precipitation, mean air temperature, relative humidity, and evapotranspiration were evaluated using descriptive statistics and the non-parametric Mann-Kendall test, with trend magnitudes estimated through Sen's slope, while acknowledging the limitations and uncertainties inherent to long-term historical series. The results indicate high interannual variability in precipitation and the absence of statistically significant trends for both precipitation and evapotranspiration, highlighting the structural instability of the regional pluviometric regime. In contrast, mean annual air temperature exhibits a statistically significant positive trend, while relative humidity shows a significant negative trend, characterizing progressively drier atmospheric conditions. Taken together, these signals reveal that, even in the absence of a significant reduction in rainfall, the system becomes increasingly vulnerable, with intensified water stress and potential impairment of ecological processes within the reservoir. This study demonstrates that long-term climatic analyses do not merely describe patterns but also challenge historical water-use choices, reinforcing the role of scientific knowledge as a critical instrument to confront, rather than merely manage, climate risks in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Climate change. Brazilian semi-arid region. Precipitation. Climate.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas consolidaram-se como um dos principais desafios ambientais globais, ao afetarem sistemas naturais e humanos e ao alterarem, de forma crescente, a disponibilidade hídrica em diferentes escalas espaciais e temporais (IPCC, 2013; IPCC, 2023). Embora o diagnóstico científico sobre o aquecimento global e seus impactos esteja

amplamente documentado, sua incorporação nos processos decisórios e nas políticas públicas ocorre de maneira desigual, seletiva e, por vezes, dissociada das realidades territoriais. Assim, a centralidade das mudanças climáticas no debate científico não implica, necessariamente, uma assimilação homogênea de seus riscos e implicações sociais, especialmente em regiões historicamente marcadas por assimetrias de poder no acesso e no controle da água (Fleury; Miguel; Taddei, 2019; Duarte, 2016).

No Brasil, os impactos associados às mudanças climáticas manifestam-se por meio de modificações nos regimes hidrológicos, como a redução das vazões dos rios, o aumento da evapotranspiração e a intensificação de eventos hidrometeorológicos extremos, incluindo secas e inundações (Marengo *et al.*, 2016; Pereira; Rodriguez, 2022; IPCC, 2023). As transformações hidrológicas associadas às mudanças climáticas não podem ser analisadas de forma dissociada da ação antrópica, uma vez que o aquecimento global contemporâneo decorre, em larga medida, de atividades humanas que alteram os balanços energéticos, atmosféricos e hidrológicos do sistema terrestre. Assim, os impactos observados sobre os regimes hidrológicos resultam da interação entre forçantes climáticas globais e processos locais de uso e ocupação do território, manejo da água e governança ambiental, os quais condicionam a magnitude e a distribuição espacial desses efeitos (Garofolo; Rodriguez, 2022; Benini; Mendiondo, 2015).

Nesse contexto, o Semiárido brasileiro destaca-se como uma das regiões mais sensíveis às variações climáticas, caracterizando-se por baixos e irregulares índices pluviométricos, temperaturas elevadas, altas taxas de evaporação e acentuada variabilidade temporal das chuvas (Marengo *et al.*, 2016). A vulnerabilidade hídrica da região, entretanto, não pode ser atribuída exclusivamente a condicionantes climáticos naturais ou ao aquecimento global em curso. Ela resulta também de um processo histórico de gestão hídrica desigual, no qual a água assume não apenas o papel de variável ambiental, mas de instrumento político, econômico e social (Cunha, 2020). Nessa perspectiva, a definição do que constitui um risco aceitável, quem se beneficia das infraestruturas hídricas e quem permanece exposto à escassez expressa disputas territoriais e assimetrias estruturais persistentes.

Projeções climáticas indicam a intensificação de eventos de seca e alterações nos padrões de precipitação, ampliando os riscos à segurança hídrica e alimentar no Semiárido brasileiro (Marengo *et al.*, 2016; IPCC, 2023). Quando analisadas de forma dissociada das práticas de gestão e governança, tais projeções podem contribuir para a naturalização de impactos que são, em parte, socialmente produzidos. A interação entre variabilidade climática natural, mudanças climáticas globais e decisões políticas locais conforma um cenário complexo, no qual os efeitos do clima são mediados, e frequentemente agravados, por modelos de desenvolvimento e gestão territorial excludentes (Medeiros *et al.*, 2022)

Nesse cenário, os reservatórios desempenham papel estratégico em ambientes semiáridos, atuando no armazenamento e na regulação das vazões durante períodos prolongados de estiagem (Pereira & Rodriguez, 2022). Para além de sua função no abastecimento humano e no suporte às atividades produtivas, esses sistemas configuram ecossistemas aquáticos artificiais que influenciam a dinâmica ecológica local, a produtividade primária e a ciclagem de carbono e nutrientes, sendo fundamentais para a manutenção de serviços ecossistêmicos (Marengo *et al.*, 2016). A crescente variabilidade climática, associada às pressões antrópicas e às limitações dos modelos de gestão vigentes, impõe desafios adicionais à sustentabilidade desses sistemas, reforçando a necessidade de abordagens adaptativas e integradas (IPCC, 2023).

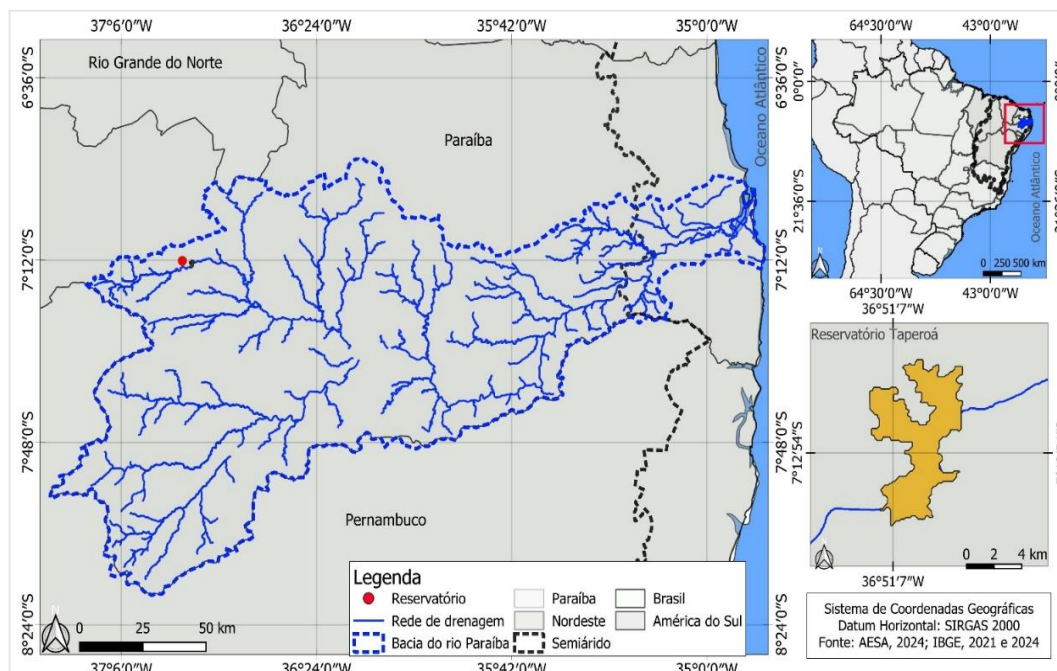
A análise integrada de variáveis climatológicas, como temperatura, precipitação, evapotranspiração e umidade, permite compreender os mecanismos que controlam a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e os processos ecológicos em regiões semiáridas. Sob a perspectiva da ecologia ambiental, essa compreensão ultrapassa a descrição de tendências físicas e constitui subsídio essencial para o debate sobre governança hídrica, justiça ambiental e sustentabilidade socioecológica em contextos marcados por desigualdades históricas no acesso à água (IPCC, 2023). Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade temporal de variáveis climáticas em um reservatório de abastecimento público localizado no Semiárido brasileiro, no período de 1981 a 2023, identificando padrões sazonais e tendências de longo prazo e examinando de que modo essas dinâmicas climáticas revelam tensões entre a disponibilidade hídrica, o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e as demandas associadas ao uso da água, no contexto da sustentabilidade ambiental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao reservatório Taperoá (Figura 1), localizado na bacia hidrográfica do rio Paraíba, no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil. Inserido no semiárido brasileiro, o reservatório está sujeito a um clima caracterizado por elevadas temperaturas médias, alta taxa de evapotranspiração e precipitação irregular, concentrada em poucos meses do ano.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Autores, 2025.

2.2 Metodologia da pesquisa

A metodologia adotada baseia-se na coleta e organização de séries temporais de variáveis climáticas, incluindo precipitação, temperatura média do ar, umidade relativa e evapotranspiração, referentes ao período de 1981 a 2023. A utilização de séries históricas longas possibilita a identificação de padrões de variabilidade e tendências de longo prazo, ao mesmo tempo em que impõe cautela interpretativa, uma vez que esses registros podem apresentar lacunas, variações na qualidade dos dados e mudanças nos procedimentos de monitoramento ao longo do período analisado. Assim, as séries são empregadas como suporte analítico para a caracterização temporal das variáveis climáticas, sem assumir que, isoladamente, sejam capazes de explicar toda a complexidade da dinâmica climática associada ao reservatório.

Inicialmente, os dados foram submetidos à estatística descritiva, com o objetivo de caracterizar o comportamento geral das variáveis e avaliar a variabilidade interanual no período analisado. Essa etapa permitiu não apenas a síntese estatística dos dados, mas também a identificação de lacunas, discontinuidades e possíveis mudanças no padrão dos registros, reconhecendo-se que séries extensas podem refletir tanto sinais climáticos quanto alterações nos procedimentos de monitoramento e na infraestrutura institucional de coleta de dados.

Em seguida, a análise de tendências foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall, amplamente utilizado em estudos climatológicos para a detecção de tendências monotônicas em séries temporais. A magnitude das tendências foi estimada a partir do estimador de Sen (Sen's slope), permitindo quantificar a taxa de variação das variáveis ao longo do tempo. A Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

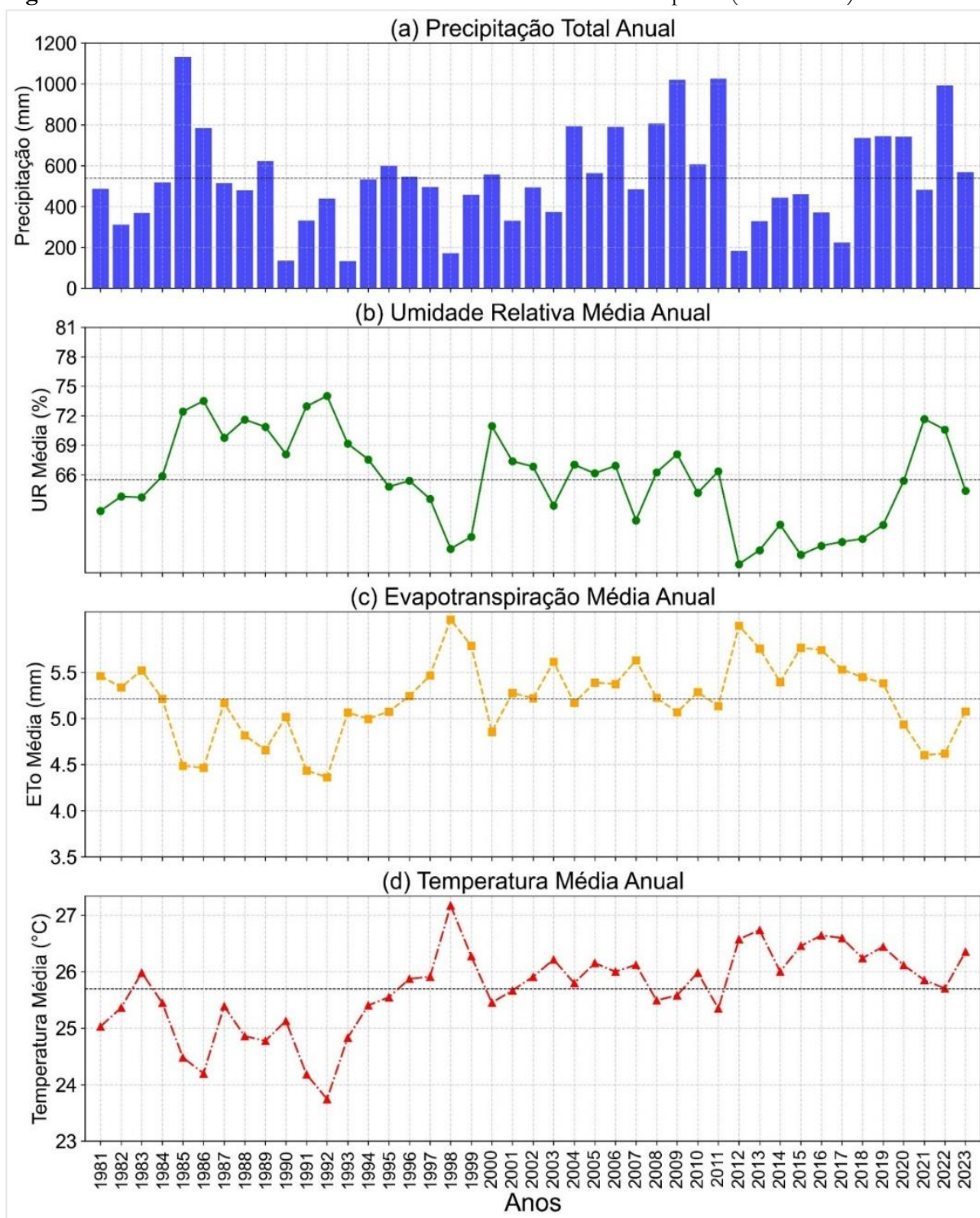
escolha dessas variáveis e métodos segue protocolos consolidados na literatura climatológica, o que assegura comparabilidade com outros estudos, mas não elimina a necessidade de cautela interpretativa. Embora robustos frente à não normalidade dos dados e à presença de valores extremos, esses testes descrevem tendências estatísticas e não capturam, por si sós, a totalidade dos processos socioambientais que condicionam a dinâmica hidrológica dos reservatórios.

A interpretação dos resultados considerou o contexto climático regional e a relação entre as variáveis analisadas. Assume-se, como limite metodológico, que a análise estatística das séries temporais não permite inferir diretamente sobre conflitos de uso da água, decisões operacionais do reservatório ou mudanças no uso e ocupação do solo no entorno, elementos que podem exercer influência significativa sobre a disponibilidade hídrica, mas que extrapolam o escopo analítico deste estudo. Assim, os resultados são compreendidos como indicativos de tendências climáticas relevantes para a compreensão da variabilidade hidroclimática, e não como explicações exaustivas da dinâmica hidrológica observada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 destaca a variabilidade anual das variáveis climáticas para o reservatório Taperoá para o período de 1981 a 2023.

Figura 2 – Variabilidade anual das variáveis climáticas – reservatório Taperoá (1981 a 2023).



Fonte: Autores, 2026.

Os resultados evidenciam elevada variabilidade interanual da precipitação total anual, com valores oscilando aproximadamente entre 100 mm e mais de 1.100 mm ao longo da série temporal. Observam-se anos extremamente chuvosos, com totais acima da média, especialmente em meados da década de 1980, no final dos anos 1990, no início dos anos 2000 e entre 2011 e 2013,

contrastando com anos marcadamente secos, sobretudo no início da década de 1990 e em diferentes momentos da década de 2010 (Figura 2). Esse comportamento confirma a irregularidade estrutural do regime pluviométrico do Semiárido, na qual a alternância entre extremos hídricos constitui elemento central da dinâmica climática regional.

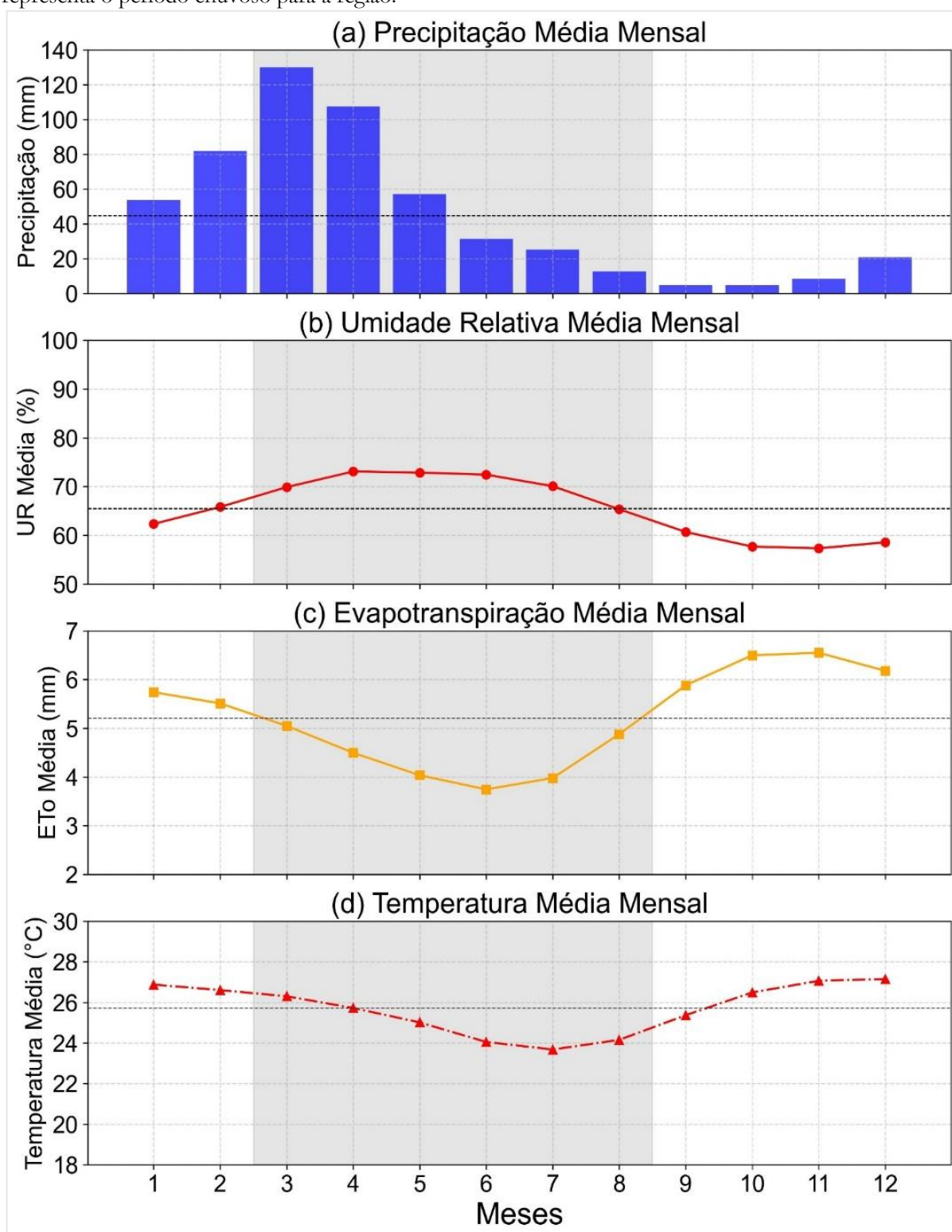
A umidade relativa média anual apresenta flutuações mais moderadas, variando aproximadamente entre 60% e 74%. Valores mais elevados concentram-se entre meados da década de 1980 e o início dos anos 1990, seguidos por um período de redução gradual e maior instabilidade a partir dos anos 2000, com recuperação pontual nos anos de 2021 e 2022 (Figura 2). Essa trajetória sugere um ambiente atmosférico progressivamente mais seco ao longo do tempo, especialmente quando analisado em conjunto com o aumento da temperatura média anual.

A evapotranspiração média anual variou entre cerca de 4,4 e 5,9 mm, apresentando oscilações menos pronunciadas do que a precipitação. Ainda assim, observa-se o predomínio de valores acima da média histórica a partir do final da década de 1990 e ao longo dos anos 2000 e 2010, indicando aumento consistente da demanda evaporativa da atmosfera. A temperatura média anual, por sua vez, apresenta tendência clara de elevação, com valores em torno de 24-26 °C nos anos iniciais da série e concentrações mais frequentes entre 26 e 27 °C a partir dos anos 2000 (Figura 2). Esses resultados apontam para um processo de aquecimento contínuo, que atua como elemento estruturante das mudanças observadas nas demais variáveis climáticas.

É importante destacar que quando analisadas em conjunto, essas variáveis revelam um cenário no qual a ausência de uma tendência estatisticamente significativa de aumento da precipitação não implica estabilidade hídrica (Dias, Valente e Fernandes, 2020). Ao contrário, o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa intensificam o estresse climático sobre o sistema, ampliando perdas por evaporação e reduzindo a eficiência dos períodos chuvosos na manutenção da disponibilidade hídrica do reservatório (Assad e Assad, 2024).

A Figura 3 demonstra a variabilidade mensal das variáveis climáticas – reservatório Taperoá (1981 a 2023).

Figura 3 – Variabilidade mensal das variáveis climáticas – reservatório Taperoá (1981 a 2023). A faixa cinza representa o período chuvoso para a região.



Fonte: Autores, 2025.

A precipitação média mensal apresenta marcada sazonalidade, com valores mais elevados concentrados entre fevereiro e abril. O pico ocorre em março, com aproximadamente 130 mm, seguido por abril (cerca de 108 mm) e fevereiro (aproximadamente 82 mm), configurando o

Wissen Editora, 2026 | ISBN 978-65-85923-98-9 | DOI: <http://www.doi.org/10.52832/wed.198>

principal período de recarga hídrica anual do reservatório. Janeiro apresenta precipitação intermediária, próxima de 55 mm. A partir de maio, observa-se queda acentuada dos totais mensais, com cerca de 58 mm em maio e 32 mm em junho. O período seco se intensifica entre julho e outubro, quando a precipitação média mensal permanece abaixo de 30 mm, atingindo mínimos em setembro e outubro, com valores próximos de 5 mm. Em novembro e dezembro, ocorre apenas uma recuperação modesta das chuvas, com cerca de 8 mm e 21 mm, respectivamente, ainda insuficiente para compensar o déficit acumulado ao longo da estação seca (Figura 3).

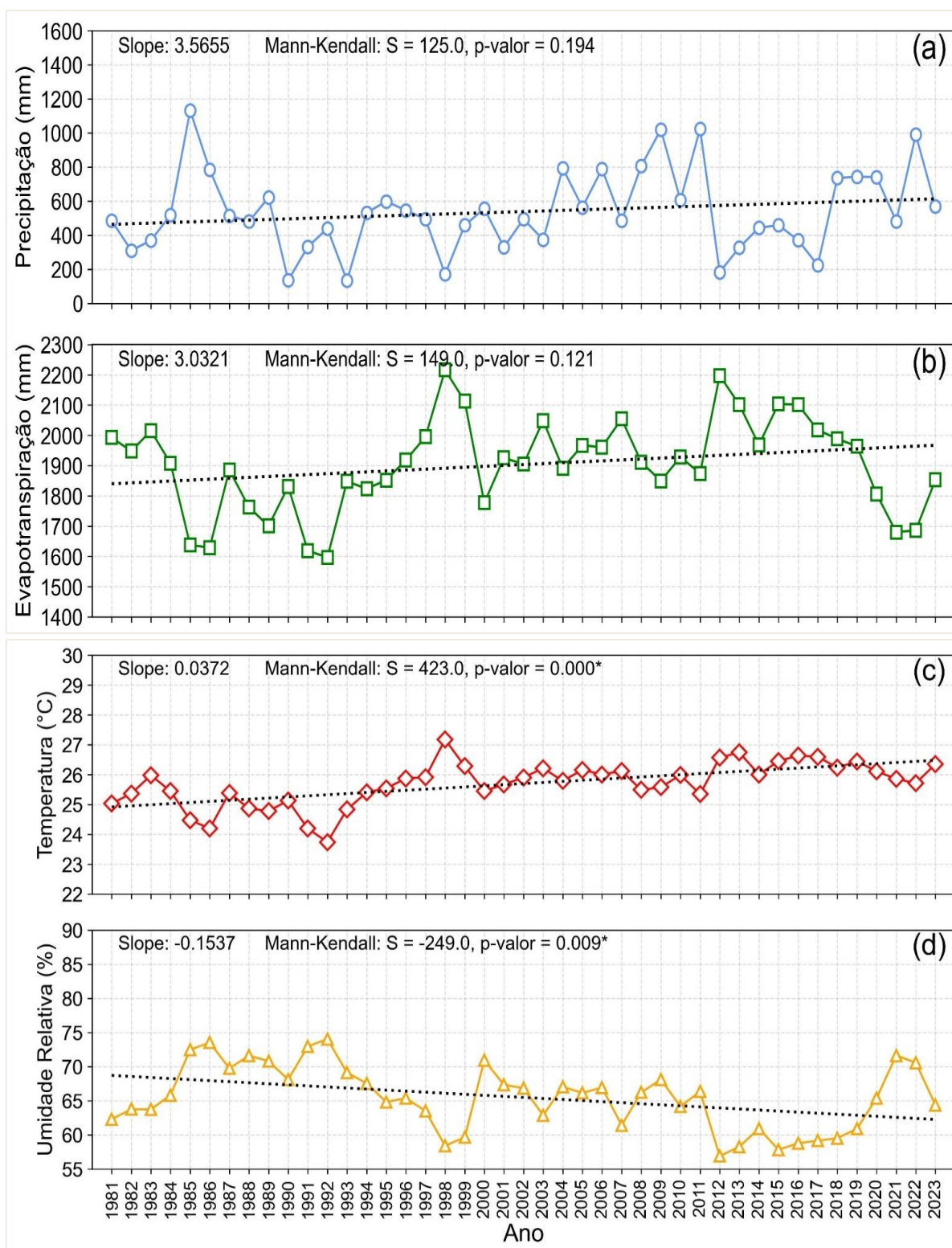
A umidade relativa média mensal acompanha esse regime pluviométrico, variando de aproximadamente 62% em janeiro para valores máximos entre 72% e 73% nos meses de março, abril e maio. Durante o período seco, a umidade relativa diminui progressivamente, atingindo os menores valores em outubro e novembro, com cerca de 58% e 57%, respectivamente. Em contraste, a evapotranspiração média mensal apresenta comportamento inverso, com valores mínimos durante a estação chuvosa, entre 4,0 e 4,5 mm de abril a junho, e máximos no período seco, alcançando aproximadamente 6,5 mm em outubro e 6,6 mm em novembro. A temperatura média mensal também evidencia forte sazonalidade, com menores valores entre junho e julho, em torno de 24,0 a 23,7 °C, e máximos entre outubro e dezembro, quando as temperaturas médias atingem cerca de 26,5 a 27,1 °C (Figura 3).

A leitura integrada desses resultados revela que a sazonalidade climática impõe ao reservatório um regime de funcionamento marcado por forte assimetria temporal (Penereiro *et al.*, 2018). Os meses de maior aporte pluviométrico coincidem com condições atmosféricas mais amenas e menor demanda evaporativa, enquanto o período seco concentra simultaneamente baixa precipitação, aumento da temperatura, redução da umidade relativa e intensificação da evapotranspiração. Esse arranjo não apenas prolonga o déficit hídrico ao longo do ano, como amplifica as perdas de água justamente nos meses em que a disponibilidade é menor, aumentando o estresse sobre o sistema aquático (Back; Souza; Galatto, 2025).

Dessa forma, mesmo na ausência de uma tendência significativa de redução da precipitação anual, a combinação entre aquecimento, atmosfera mais seca e elevada demanda evaporativa contribui para tornar o reservatório progressivamente mais vulnerável. Os resultados indicam que o estresse hídrico observado não decorre exclusivamente da variabilidade das chuvas, mas da interação entre múltiplas variáveis climáticas que, de forma combinada, condicionam a dinâmica hidrológica e ecológica do reservatório ao longo do ciclo anual.

A Figura 4 sintetiza a tendência anual das séries analisadas.

Figura 4 – Tendência anual das séries temporais de precipitação, evapotranspiração, temperatura média e umidade relativa para o reservatório Taperoá entre 1981 e 2023. Slope: coeficiente angular da reta de regressão e S: teste de Mann-Kendall.



Fonte: Autores, 2025. *tendência estatisticamente significativa a um nível de significância de 0,05 (5%).

A análise de tendência da precipitação total anual indica um comportamento levemente crescente ao longo do período avaliado, com estimativa de inclinação (Sen's slope) de aproximadamente $3,56 \text{ mm ano}^{-1}$. No entanto, o teste de Mann-Kendall não apontou significância estatística para essa tendência ($S = 125$; $p\text{-valor} = 0,194$), evidenciando que a elevada variabilidade interanual da precipitação, característica do semiárido, impede a identificação de uma tendência monotônica robusta (Figura 4). Esse resultado reforça que, embora ocorram anos pontualmente mais chuvosos, a irregularidade pluviométrica permanece como traço dominante do regime climático, limitando a confiabilidade da precipitação como fator isolado de alívio do estresse hídrico do reservatório.

Um comportamento semelhante é observado para a evapotranspiração anual, que apresenta tendência positiva com inclinação estimada em cerca de $3,03 \text{ mm ano}^{-1}$, mas sem significância estatística segundo o teste de Mann-Kendall ($S = 149$; $p\text{-valor} = 0,121$). A ausência de tendência estatisticamente significativa não implica estabilidade do sistema, mas sugere que as oscilações interanuais ainda predominam sobre uma trajetória monotônica clara (Figura 4). Esse resultado ganha relevância quando interpretado em conjunto com o aumento térmico observado, uma vez que a evapotranspiração responde não apenas a condições climáticas médias, mas também a decisões operacionais, níveis do reservatório e mudanças na demanda hídrica ao longo do tempo.

Em contraste, a temperatura média anual apresenta tendência positiva estatisticamente significativa, com inclinação estimada em aproximadamente $0,037 \text{ }^\circ\text{C ano}^{-1}$ ($S = 423$; $p\text{-valor} < 0,001$), evidenciando um processo consistente de aquecimento ao longo do período analisado. Paralelamente, a umidade relativa média anual apresenta tendência negativa significativa, com inclinação de cerca de $-0,154 \text{ \% ano}^{-1}$ ($S = -249$; $p\text{-valor} = 0,009$), indicando redução progressiva da umidade atmosférica (Figura 4). A combinação desses dois sinais (aumento térmico e redução da umidade) intensifica as condições de aridez atmosférica e potencializa perdas por evaporação, mesmo na ausência de tendências estatisticamente significativas na precipitação.

De forma integrada, os resultados revelam um paradoxo climático relevante: ainda que a precipitação e a evapotranspiração não apresentem tendências estatisticamente significativas, o sistema torna-se progressivamente mais estressado em função do aquecimento e da redução da umidade relativa. Esses fatores não atuam de forma isolada, mas interagem com a operação do reservatório, a crescente demanda hídrica e as transformações no entorno, ampliando a vulnerabilidade do sistema. Assim, os resultados não devem ser interpretados como ausência de mudança, mas como evidência de uma reorganização gradual das condições climáticas que afetam o funcionamento hidrológico e socioambiental do reservatório.

4 CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou um cenário de elevada variabilidade climática no reservatório Taperoá, característica estrutural do semiárido brasileiro, associado a sinais consistentes de aquecimento ao longo das últimas décadas. Embora a precipitação e a evapotranspiração não apresentem tendências estatisticamente significativas, o aumento significativo da temperatura média anual, combinado à redução progressiva da umidade relativa, indica a consolidação de condições atmosféricas potencialmente mais secas, capazes de intensificar o estresse hídrico e comprometer o funcionamento dos ecossistemas aquáticos associados ao reservatório. Os resultados demonstram que a vulnerabilidade do sistema não decorre exclusivamente da irregularidade das chuvas, mas da interação entre aquecimento, atmosfera mais seca e aumento da demanda evaporativa, cujos efeitos tendem a se manifestar de forma cumulativa ao longo do tempo. Nesse sentido, a ausência de tendências significativas na precipitação não pode ser interpretada como estabilidade hidrológica, uma vez que o funcionamento do reservatório se torna progressivamente mais sensível às condições térmicas e às decisões de manejo adotadas.

À luz desses achados, a noção de gestão adaptativa não pode ser compreendida de forma neutra ou genérica. Adaptar-se implica reconhecer que os impactos climáticos se distribuem de maneira desigual entre usos, usuários e funções do reservatório, exigindo escolhas explícitas sobre prioridades de alocação da água em um contexto de crescente escassez. O conhecimento científico produzido, ao evidenciar tendências e paradoxos climáticos, cumpre o papel de alertar práticas historicamente orientadas por respostas reativas e de curto prazo. Assim, mais do que subsidiar o monitoramento contínuo das variáveis climáticas, este estudo reforça a necessidade de que a informação científica seja efetivamente incorporada aos processos decisórios, de modo a enfrentar, e não apenas administrar, os riscos climáticos que já se encontram em curso no semiárido brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 166809/2023-3) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo financiamento das bolsas de doutorado, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, e de Iniciação Científica, ambas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D.; ASSAD, M. L. R. C. L. Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. desafios e oportunidades. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 38, n. 112, p. 271-292, 2024.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2025.

BACK, A. J.; SOUZA, G. da S.; GALATTO, S. L. Comportamento sazonal das precipitações pluviométricas máximas anuais no Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 36, p. 291-312, 5 fev. 2025.

BENINI, R. de M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 211-222, jun. 2015.

BLANK, D. M. P. The context of climate changes and its victims. **Mercator**, [S.L.], v. 14, n. 02, p. 157-172, 20 jul. 2015.

CUNHA, L. H. Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 55, p. 99-116, 17 dez. 2020.

DIAS, L. C.; VALENTE, A. M. da C.; FERNANDES, L. L. Análise e correlação de variáveis climatológicas com os fenômenos climáticos e a urbanização na Cidade de Belém, no Estado do Pará, região Norte do Brasil. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1-22, 6 ago. 2020.

DUARTE, T. R. Mecanismos de homogeneização da atividade científica: o caso da ciência das mudanças climáticas. **Sociedade e Estado**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 821-843, dez. 2016.

FLEURY, L. C.; MIGUEL, J. C. H.; TADDEI, R.. Mudanças climáticas, ciência e sociedade. **Sociologias**, [S.L.], v. 21, n. 51, p. 18-42, ago. 2019.

GAROFOLO, L.; RODRIGUEZ, D. A.. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 1-15, 14 dez. 2022.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2013: A base da ciência física. *In*: STOCKER, T. F. *et al.* (orgs.). **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Mudança do clima 2023: relatório de síntese. Contribuição dos grupos de trabalho I, II e III para o sexto relatório de avaliação (AR6). Genebra: IPCC, 2023. 182 p.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Griffin, 1975. 202 p.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MARENCO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2016.

MEDEIROS, R. M. de; FRANÇA, M. V. de; ARAÚJO, W. R. de; SABOYA, L. M. F.; CUNHA FILHO, M.; HOLANDA, R. M. de; BRAGA, S. E. Variabilidade e suas mudanças climáticas em

séries de temperatura máxima do ar e precipitação em Brasília – DF. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1-14, 28 maio 2022.

PENEREIRO, J. C.; BADINGER, A.; MACCHERI, N. A.; MESCHIATTI, M. C. Distribuições de Tendências Sazonais de Temperatura Média e Precipitação nos Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 97-113, mar. 2018.


PEREIRA, V. R.; RODRIGUEZ, D. A. Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas. **Derbyana**, 43, p. 1-14, 2022.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 42, p. 8390–8404, 2022.

CAPÍTULO 13

ANÁLISE MULTITEMPORAL POR GEOPROCESSAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA EM ÁREA DE INTERVENÇÃO PAISAGÍSTICA (2021–2025)




MULTITEMPORAL ANALYSIS OF URBAN VEGETATION THROUGH GEOPROCESSING IN A LANDSCAPE INTERVENTION AREA (2021–2025)

Rosivaldo Machado da Silva Junior   

Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

Isadora Pires Lopes   


Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

Flavielli Porto da Silva   

Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

Maria Eduarda Coutinho   




Graduanda em engenharia agrônoma, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

Ellen Jardyelle de Carvalho da Conceição   

Mestranda em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

Maíra Martins de Freitas   

Mestranda em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade, Brasil

Bárbara Vieira dos Santos   


Mestranda em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade, Brasil

Jéssica Karina Mesquita Vieira   


Mestranda em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade, Brasil

Paula Andressa Sena Ferreira   

Mestranda em Educação, Universidade Federal em Catalão (UFCAT), Brasil

Lidiane Machado Dionizio   

Mestre em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás Campus Sul Unidade Universitária de Ipameri (UEG - Ipameri), Ipameri- GO, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1163 

Resumo: A requalificação paisagística de praças públicas frequentemente substitui a vegetação arbórea por espécies ornamentais, com impactos pouco mensurados sobre os serviços ecossistêmicos urbanos. Este estudo teve como objetivo analisar as alterações florísticas e estruturais da cobertura vegetal da Praça das Mães, em Catalão (GO), entre 2021 e 2025, e avaliar os impactos ecológicos decorrentes da intervenção. Utilizou-se uma análise multitemporal com imagens do *Google Earth Pro* processadas no *software* QGIS, aliadas ao levantamento florístico indireto e ferramentas planimétricas. Em 2021, a cobertura arbórea representava 34% da área total (2.206,5 m²), com 18 indivíduos de *Pachira* sp. e 25 palmeiras adultas; em 2025, essa cobertura foi completamente suprimida, sendo substituída por espécies ornamentais de pequeno porte, como *Calathea* sp., *Buxus* sp. e *Agave* sp. Os índices espectrais MGVRI e GLI confirmaram a redução do vigor vegetal e da funcionalidade ecológica. Conclui-se que a intervenção resultou em perda significativa de serviços ecossistêmicos, especialmente a regulação térmica, evidenciando a necessidade de diretrizes paisagísticas que integrem função ecológica e estética urbana.

Palavras-chave: Arborização Urbana. Serviços Ecossistêmicos. Sensoriamento Remoto. Ilha de Calor. Paisagismo.

Abstract: The landscape redesign of public squares often replaces tree cover with ornamental species, producing underassessed impacts on urban ecosystem services. This study aimed to analyze the floristic and structural changes in the vegetation of Praça das Mães, in Catalão (GO), Brazil, between 2021 and 2025, and to assess the ecological impacts of such intervention. A multitemporal analysis was conducted using Google Earth Pro imagery processed in QGIS, combined with indirect floristic surveys and planimetric tools. In 2021, tree canopy covered 34% of the square (2,206.5 m²), with 18 *Pachira* sp. trees and 25 adult palm trees. By 2025, all tree cover had been removed and replaced with low-growing ornamental species such as *Calathea* sp., *Buxus* sp., and *Agave* sp. Spectral indices MGVRI and GLI confirmed a reduction in vegetation vigor and ecological functionality. The findings indicate a significant loss of ecosystem services, particularly thermal regulation, highlighting the need for landscaping policies that integrate ecological function with urban aesthetics.

Keywords: Urban Afforestation. Ecosystem Services. Remote Sensing. Heat Island. Landscaping.

1 INTRODUÇÃO

As áreas verdes urbanas desempenham papel essencial na melhoria da qualidade ambiental e do bem-estar humano, atuando como reguladoras do microclima, redutoras da poluição atmosférica e espaços de lazer e convivência social (Barbosa *et al.*, 2024). Em especial, as praças públicas configuram elementos fundamentais na estrutura ecológica das cidades, pois contribuem para a diminuição das temperaturas superficiais, o sequestro de carbono e a manutenção da biodiversidade urbana (Oropeza-Sánchez *et al.*, 2025). No entanto, nas últimas décadas, tem-se observado um processo crescente de substituição da vegetação arbórea por espécies ornamentais de pequeno porte, o que, embora amplie a estética dos espaços, compromete suas funções ecológicas.

No Brasil, requalificações urbanas têm reduzido árvores de grande porte em praças e vias, privilegiando aspectos estéticos em detrimento dos ecológicos. Essa perda compromete serviços ecossistêmicos, intensifica o calor urbano e reduz o conforto ambiental (Pinheiro; Souza, 2017;

Amato-Lourenço *et al.*, 2016). Estudos mostram aumento da temperatura, menor umidade e maior desconforto térmico em áreas com pouca vegetação (Martini; Biondi; Batista, 2022).

Diante disso, é de interesse realizar o monitoramento dessas áreas e a análise multitemporal de praças urbanas utilizando plataformas como *Google Maps* e índices vegetativos como o MGVRI (*Modified Green Vegetation Ratio Index*) e o GLI (*Green Leaf Index*) são uma abordagem significativa para o monitoramento da vegetação em ambientes urbanos (Fertas *et al.*, 2024). Essa prática é fundamental para entender as dinâmicas ambientais e a saúde das áreas verdes nas cidades, impactando diretamente na qualidade de vida urbana e na sustentabilidade (Benoumeldjadj *et al.*, 2024).

O MGVRI, assim como outros índices de vegetação, é utilizado para quantificar a cobertura verde e a saúde da vegetação, essencial para o planejamento urbano e a conservação ambiental. Essa métrica é particularmente útil em ambientes urbanos, onde a monitoração da vegetação pode ser desafiadora devido à fragmentação e à poluição. O uso de dados de satélites e ferramentas como *Google Maps* permite, por meio de análises espaciais, avaliar a distribuição e a dinâmica da vegetação ao longo do tempo. Nolasco e Balzarini (2024) elucidam que a consistência radiométrica nas imagens é crucial para mapeamentos de cobertura do solo, especialmente quando se considera agregações temporais, o que se aplica diretamente ao uso de MGVRI e GLI em praças urbanas.

A cidade de Catalão (GO), localizada no sudeste goiano, exemplifica esse processo. Entre os anos de 2021 e 2025, o município passou por reformas estruturais em várias áreas verdes, dentre elas a Praça das Mães, situada na região central. A justificativa oficial da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Semmac, 2021) para a supressão das árvores foi a ocorrência de ataques do besouro metálico *Euchroma gigantea* sobre indivíduos de *Pachira sp.*, que comprometiam a segurança da população.

Diante desse cenário, torna-se fundamental avaliar os impactos ecológicos e estruturais da substituição da vegetação arbórea por espécies ornamentais, especialmente em ambientes urbanos tropicais, onde a arborização exerce função crucial na regulação térmica. A análise de casos específicos, como o da Praça das Mães, permite compreender de que forma as decisões paisagísticas municipais influenciam os serviços ecossistêmicos urbanos e a sustentabilidade climática local.

Assim, este estudo teve como objetivos: (i) analisar as alterações na composição florística e estrutural da Praça das Mães entre os anos de 2021 e 2025; (ii) quantificar a redução da cobertura arbórea e de área sombreada por meio de medições em imagens de satélite; e (iii) identificar as espécies ornamentais implantadas após a reforma e suas implicações ecológicas para o equilíbrio térmico e paisagístico do ambiente urbano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

Trata-se de um estudo de caso de abordagem quanti-qualitativa, pautado em uma análise temporal comparativa. A pesquisa foi desenvolvida por meio de técnicas de sensoriamento remoto e análise de imagens aéreas de alta resolução, caracterizando-se como um estudo documental e descritivo-exploratório. Os procedimentos técnicos incluíram a aquisição de imagens, a análise planimétrica, o levantamento florístico indireto e a quantificação de dados para comparação entre dois períodos distintos.

2.2 Área de Estudo e Público-alvo

O estudo foi conduzido na Praça das Mães, localizada no município de Catalão (GO), situada nas coordenadas geográficas aproximadas de 18°09'51"S e 47°56'38"W. O "público-alvo" da análise foi a cobertura vegetal da praça, compreendendo os indivíduos arbóreos, arbustivos, herbáceos e as palmeiras existentes no local.

2.3 Metodologia da pesquisa

2.3.1. Aquisição e Análise das Imagens

Foram utilizadas imagens disponíveis no *Google Earth Pro* (versão *desktop*), acessadas por meio da ferramenta de histórico temporal. Selecionaram-se imagens dos anos de 2021 (cenário pré-reforma) e 2025 (cenário pós-reforma), garantindo que ambas fossem livres de sombreamento excessivo, com resolução nítida, mesma escala e ângulo de visão compatível. As imagens foram então exportadas em alta resolução e georreferenciadas no sistema de coordenadas WGS 84 – EPSG:4326.

2.3.2. Cálculo dos índices vegetativos

As imagens exportadas foram inseridas no *software* QGIS (versão 3.28), onde foram processadas as bandas RGB para cálculo dos índices de vegetação de base espectral visível. Foram aplicados dois índices: *Modified Green-Red Vegetation Index* (MGVRI): $\frac{(G)^2 - (R)^2}{(G)^2 + (R)^2}$ onde G e R representam os valores das bandas Verde (*Green*) e Vermelha (*Red*), respectivamente; *Green Leaf Index* (GLI): $\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$ onde R, G e B são as intensidades das bandas Vermelha, Verde e Azul, extraídas diretamente das imagens RGB.

Os cálculos foram feitos por meio da Calculadora *Raster* do QGIS, aplicando as fórmulas diretamente sobre os arquivos georreferenciados em formato TIFF. Os índices foram gerados para cada ano (2021 e 2025) e os valores normalizados entre -1 e 1 para fins de visualização comparativa.

As áreas com valores positivos mais altos indicam vegetação verde mais densa e saudável, enquanto valores próximos de zero ou negativos indicam solo exposto, pavimento ou vegetação esparsa.

2.3.3. Levantamento Florístico

A identificação das espécies foi realizada por meio de análise visual das imagens de melhor resolução, complementada por fotografias de campo e consulta ao laudo técnico da vegetação existente antes da reforma, emitido pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Catalão (SEMMAC, 2021). Nos casos de identificação imprecisa, adotou-se o gênero botânico seguido de “*sp.*” (ex.: *Philodendron sp.*).

Indivíduos que não puderam ser identificados devido à baixa qualidade da imagem foram classificados como “não identificado”. As espécies foram agrupadas por porte predominante (árvore, arbusto, herbácea ou trepadeira) e listadas em ordem alfabética. As palmeiras foram agrupadas sob a denominação “Palmeiras (diversas)” devido à semelhança morfológica e à ausência de informações taxonômicas precisas.

2.3.4. Quantificação e Comparação Temporal

Com base nas imagens georreferenciadas no QGIS, foram delimitadas manualmente as áreas de cobertura de copa arbórea em cada ano utilizando a ferramenta de polígonos. A área total da praça foi mapeada, e o percentual ocupado por vegetação arbórea foi calculado por ano. As métricas extraídas incluíram: a) área de copas em metros quadrados; b) percentual de área da praça ocupada por vegetação arbórea; c) número de espécies por ano; d) número total de indivíduos por porte e grupo funcional.

Além disso, foi estimada visualmente a cobertura vegetal total (incluindo gramados, arbustos e herbáceas) para ambos os anos, com base em interpretação dos mapas de índice de vegetação. Esses dados serviram como base para análise comparativa multitemporal dos efeitos da intervenção paisagística.

2.3.5. Tratamento e Análise dos Dados

Os dados quantitativos obtidos (área de copas, número de espécies e indivíduos) foram tabulados no *Microsoft Excel*® para organização e cálculo de variações absolutas e relativas entre 2021 e 2025. Os mapas gerados dos índices MGVI e GLI foram utilizados como evidência visual da perda de cobertura vegetal e da alteração funcional do ambiente. Fotografias de nível do solo obtidas via *Google Street View* foram organizadas em pares comparativos antes/depois, a fim de ilustrar visualmente os impactos estruturais da reforma.

3 RESULTADOS

A análise multitemporal da Praça das Mães revelou alterações profundas na estrutura e composição da vegetação entre 2021 e 2025, diretamente relacionadas à reforma paisagística implementada no período. Em 2021, a praça apresentava uma estrutura vegetal verticalizada e funcional, com 18 indivíduos adultos de *Pachira sp.* (munguba) e 25 palmeiras adultas estrategicamente dispostas ao longo do espaço, além de um gramado contínuo e algumas espécies ornamentais secundárias.

A área total ocupada por copas arbóreas em 2021 era de 2.206,50 m², o que correspondia a 34% da área da praça (6.483,95 m²). Essa cobertura proporcionava sombreamento substancial, além de contribuir para a regulação térmica, conforto ambiental e suporte ecológico para avifauna e polinizadores. A Tabela 1 sintetiza as métricas comparativas entre 2021 e 2025, evidenciando uma redução absoluta da cobertura arbórea para 0% após a intervenção, com perda total das copas e retirada de todos os indivíduos arbóreos de grande porte.

Tabela 1 - Cobertura arbórea da Praça das Mães, Catalão (GO), em 2021 e 2025, obtida a partir da soma das áreas de copa.

Indicador	2021	2025	Variação
Área total da praça (m ²)	6.483,95	6.483,95	–
Área total das copas (m ²)	2.206,50	0	–2.206,50
Cobertura arbórea (%)	34,0%	0%	–34,0 p.p.

Fonte: Autores, 2025.

Em substituição, a praça foi reconfigurada com espécies ornamentais de pequeno porte, de caráter essencialmente estético e homogêneo. Em 2025, foram identificadas 12 espécies diferentes, entre herbáceas, arbustos e trepadeiras, além de 20 palmeiras jovens, das quais apenas 4 palmeiras-azuis (*Bismarckia nobilis*) apresentavam algum grau de desenvolvimento vertical. No entanto, mesmo essas não apresentavam copas com área suficiente para gerar sombreamento relevante. A nova composição florística incluiu espécies como *Calathea sp.*, *Buxus sempervirens*, *Agave sp.*, *Aechmea sp.*, *Trimezia sp.*, *Heliconia psittacorum*, *Bougainvillea glabra* e *Sansevieria sp.*, muitas delas dispostas em canteiros maciços e faixas lineares.

A Tabela 2 detalha as espécies registradas em cada ano, seu porte e número estimado de indivíduos. Importante destacar que, apesar do aumento na riqueza de espécies (de 5 para 12), houve uma drástica redução na complexidade estrutural e funcional da vegetação, com perda do estrato arbóreo e da biodiversidade associada.

Tabela 2 - Composição florística simplificada da Praça das Mães, Catalão (GO), em 2021 e 2025, indicando o porte e a quantidade de indivíduos registrados.

Espécie (simplificada)	Porte	Quantidade	Ano
<i>Pachira sp.</i>	Árvore	18	2021
<i>Eurcraea sp.</i>	Herbácea	5	2021
<i>Musa sp.</i>	Herbácea	3	2021
Palmeiras	Árvore	25	2021
Não identificadas	—	15	2021
<i>Calathea sp.</i>	Herbácea	7	2025
<i>Buxus sp.</i>	Arbusto	9	2025
<i>Agave sp.</i>	Herbácea	2	2025
<i>Aechmea sp.</i>	Herbácea	10	2025
<i>Trimezia sp.</i>	Herbácea	Incontáveis	2025
<i>Chechrus sp.</i>	Herbácea	Incontáveis	2025
<i>Thunbergia sp.</i>	Arbusto	Incontáveis	2025
<i>Philodendron sp.</i>	Herbácea	Incontáveis	2025
<i>Heliconia sp.</i>	Herbácea	Incontáveis	2025
<i>Bougainvillea sp.</i>	Trepadeira	Incontáveis	2025
Palmeiras (diversas)	Árvore	20	2025
Não identificadas	—	7	2025

Fonte: Autores, 2025.

A série de imagens geoespaciais obtidas entre 2021 e 2025 reforça visualmente as mudanças estruturais descritas. A Figura 1 mostra a praça, vista de cima, em três momentos distintos: 2021 janeiro (Figura 1A): cobertura arbórea densa, com copas amplas projetando sombra; 2021 – julho (Figura 1B): estágio intermediário da reforma, com remoção completa da vegetação e solo exposto; 2025 (Figura 1C): reconfiguração paisagística final, com pavimentação ampliada, canteiros ornamentais e vegetação rasa.

Figura 1 -Variação temporal da vegetação na Praça das Mães, Catalão (GO).

Fonte: Google Earth Pro (2021–2025).

O contraste é ainda mais evidente nas fotografias de nível do solo (Figura 2), obtidas via *Google Street View*, que ilustram a percepção do usuário em termos de sombreamento, conforto e presença vegetal. As imagens de 2021 (Figuras 2A, 2C, 2E) demonstram o efeito de um dossel arbóreo funcional, enquanto as imagens de 2025 (Figuras 2B, 2D, 2F) evidenciam a exposição solar direta e perda de cobertura viva vertical.

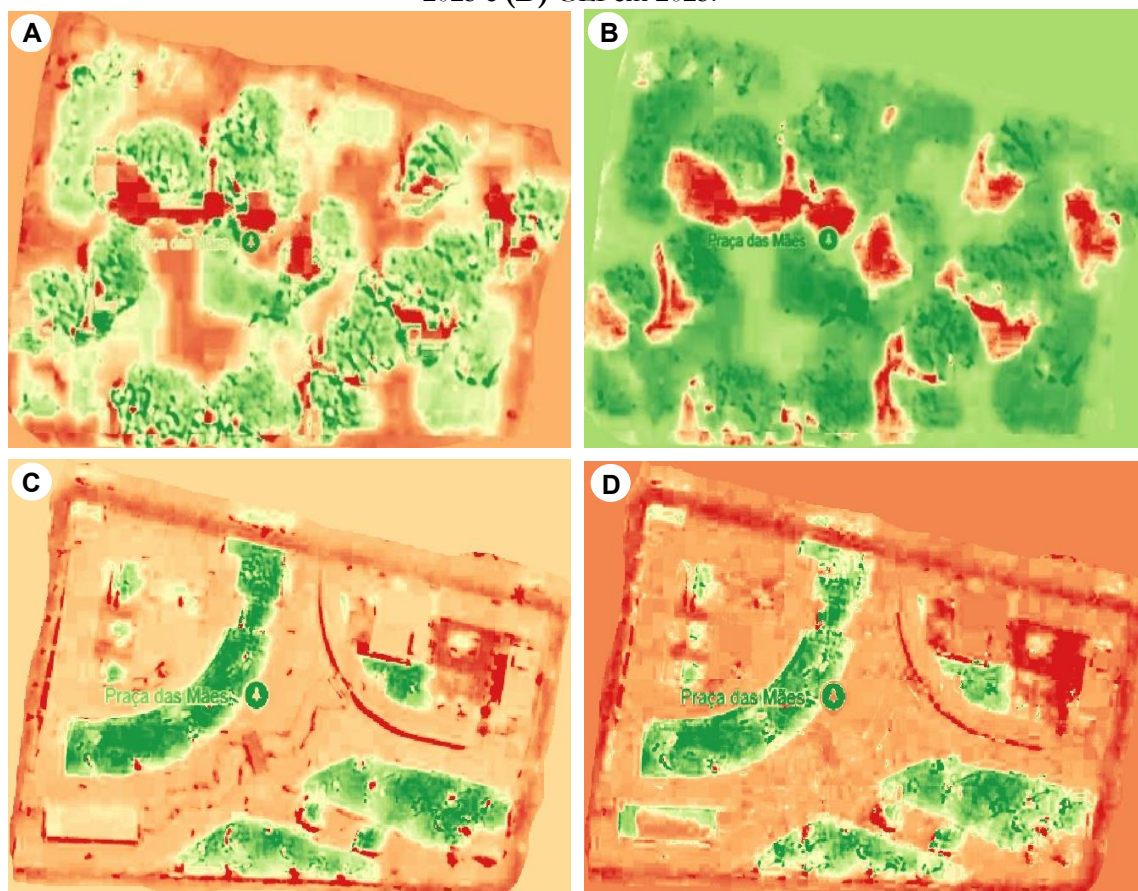
Figura 2 - Comparação fotográfica da Praça das Mães, Catalão (GO), entre 2021 e 2025. (A, C, E) Situação anterior à reforma (2021), (B, D, F) Situação atual (2025).



A análise espectral via QGIS, utilizando os índices MGVRI e GLI, revelou diferenças marcantes na intensidade e distribuição da vegetação saudável entre os dois anos estudados. Em 2021, os mapas gerados para ambos os índices mostraram valores positivos concentrados sobre as copas das mungubas e palmeiras, indicando vegetação vigorosa com forte refletância na banda verde. As áreas gramadas também apresentaram valores intermediários, caracterizando uma distribuição equilibrada entre vegetação alta e baixa.

A Figura 3 apresenta os mapas temáticos gerados com os dois índices (MGVRI e GLI) para 2021 e 2025. A análise espacial confirma, de forma objetiva, a perda funcional da vegetação, com redução da capacidade de interceptação de radiação solar, evapotranspiração e prestação de serviços ecossistêmicos urbanos.

Figura 3 – Mapas dos índices vegetativos. **(A)** MGVRI em 2021, **(B)** GLI em 2021 **(C)** MGVRI em 2025 e **(D)** GLI em 2025.



Fonte: *Google Earth*, adaptado pelos autores.

Considerando a totalidade da vegetação (copas, gramados, herbáceas e arbustos), estimou-se que a cobertura vegetal total da praça era de aproximadamente 50% em 2021, somando os estratos arbóreo e herbáceo. Em 2025, mesmo com a implantação de canteiros e espécies ornamentais, a cobertura vegetal caiu para cerca de 40% da área da praça, com concentração em faixas laterais e canteiros centrais. No entanto, essa vegetação não proporciona sombreamento efetivo nem modulação térmica significativa, funcionando majoritariamente como cobertura estética de solo. A substituição de árvores por plantas de pequeno porte levou à homogeneização do perfil vegetal e à perda da multifuncionalidade ecológica da praça.

4 DISCUSSÃO

A supressão total da vegetação arbórea na Praça das Mães, com perda de 2.206,50 m² de copas, comprometeu funções essenciais da arborização urbana, como conforto térmico, suporte ecológico e regulação climática. Como apontam Scroccaro, Araujo e Tavares (2018) e Amorim (2017), a presença de árvores é decisiva para amenizar microclimas urbanos, sendo mais eficazes que arbustos ou gramíneas, como reforçado por Norton *et al.* (2015).

A nova configuração, dominada por espécies ornamentais de pequeno porte, resultou em simplificação estrutural e perda de funcionalidade ecológica. Apesar do aumento na riqueza de espécies (de 5 para 12), essas são majoritariamente exóticas e de baixa diversidade funcional. Isso caracteriza um processo de homogeneização biótica, conforme discutido por Beninde *et al.* (2015), Setälä *et al.* (2014) e Aronson *et al.* (2016), em que paisagens visualmente padronizadas substituem ecossistemas mais complexos, reduzindo a oferta de nichos e a presença de fauna urbana.

Além disso, a praça deixou de cumprir o papel de “*stepping stone*” ecológico (pequeno elo funcional dentro da malha urbana), como definido por Haase *et al.* (2014) e Garcia, Espelta e Hampe (2020). A eliminação do estrato arbóreo implicou em perda de conectividade ecológica e de serviços como sequestro de carbono e interceptação de poluentes (Dobbs, Escobedo e Zipperer, 2011; Amato-Lourenço *et al.*, 2016). A justificativa da remoção por ataque do besouro *Euchroma gigantea* reflete uma abordagem reativa de manejo. A erradicação completa, em vez de manejo fitossanitário progressivo, acarreta vazios ecológicos abruptos, como alertam Haase *et al.* (2014).

A análise espectral com os índices MGVRI e GLI confirmou a perda de vegetação vigorosa: em 2021, valores positivos indicavam alta densidade e atividade fotossintética; em 2025, os índices foram próximos de zero ou negativos, revelando superfícies refletoras e vegetação de baixo vigor. Esses achados reforçam o risco de aumento da temperatura local, como apontam Martini, Biondi e Batista (2022), sobretudo em áreas tropicais com alta insolação.

5 CONCLUSÃO

A reforma paisagística da Praça das Mães resultou na perda total da cobertura arbórea e na substituição por espécies ornamentais de baixo porte, comprometendo significativamente os serviços ecossistêmicos antes oferecidos, como sombreamento, regulação térmica e suporte à biodiversidade. Os dados florísticos, visuais e espectrais (MGVRI e GLI) confirmaram a simplificação ecológica e a redução funcional do espaço.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte: teoria e prática**. Curitiba: Editora Appris, 2021.

ARONSON, M. F. J. *et al.* Hierarchical filters determine community assembly of urban species pools. **Ecology**, v. 97, n. 11, p. 2952-2963, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecy.1535>.

BARBOSA, V. R. F. *et al.* Ecosystem services provided by green areas and their implications for human health in Brazil. **Ecological Indicators**, v. 161, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111975>.

BENINDE, J.; VEITH, M.; HOCHKIRCH, A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. **Ecology Letters**, v. 18, n. 6, p. 581-592, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12427>.

BENOUMELDJADJ, M. *et al.* Spatio-Temporal Analysis of Ain Abid City (Algeria) Using Multi-Index Remote Sensing (2003-2023). **Sar Journal - Science And Research**, [S.L.], p. 351-361, 27 dez. 2024. Association for Information Communication Technology Education and Science (UIKTEN). <http://dx.doi.org/10.18421/sar74-09>.

CATALÃO (Município). Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Laudo Técnico: PAT.2021.190.000-DLA-SEMIMAC – Avaliação das condições fitossanitárias das árvores da Praça das Mães. Catalão, GO: SEMMAC, 2021

DOBBS, C.; ESCOBEDO, F. J.; ZIPPERER, W. C. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. **Landscape and Urban Planning**, v. 99, n. 3-4, p. 196-206, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.004>.

FERTAS, L.; ALOUAT, M.; BENMAHAMED, H. The Emergence of Irrigated Agriculture in Semi-Arid Zones in the Face of Climate Change and Urbanization in Peri-Urban Areas in Setif, Algeria. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1112, 28 jan. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su16031112>.

GARCÍA, C.; ESPELTA, J. M.; HAMPE, A. Managing forest regeneration and expansion at a time of unprecedented global change. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 12, p. 2343-2354, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13797>.

HAASE, D. *et al.* A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. **Ambio**, v. 43, n. 4, p. 413-433, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>.

MACIEL, T. T.; BARBOSA, B. C.; PREZOTO, F. **Urbanização e os insetos sociais**. In: _____. **Impactos antrópicos: biodiversidade aquática & terrestre**. Juiz de Fora: Real Consultoria em Negócios Ltda, 2018. p. 6-17.

NOLASCO, M. M.; BALZARINI, M. G. Assessment of Temporal Aggregation of Sentinel-2 Images on Seasonal Land Cover Mapping and Its Impact on Landscape Metrics. **Research Square**, [S.L.], n. 4, p. 1, 26 ago. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-4723895/v1>.

NORTON, B. A. *et al.* Planning for cooler cities: a framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 127-138, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>.

OROPEZA-SÁNCHEZ, M. T. *et al.* Urban green spaces with high connectivity and complex vegetation promote occupancy and richness of birds in a tropical megacity. **Urban Ecosystems**, v. 28, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01612-3>.


SETÄLÄ, H. *et al.* Urban and agricultural soils: conflicts and trade-offs in the optimization of ecosystem services. **Urban Ecosystems**, v. 17, n. 1, p. 239-253, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0311-6>.

SCROCCARO, M. P.; LIMA, C. A.; TAVARES, S. F. Coberturas verdes e convencionais e a mitigação das ilhas de calor urbano. **MIX Sustentável**, v. 4, n. 3, p. 109-121, 2018. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2018.v4.n3.107-119>.




CAPÍTULO 14

CARTOGRAFIA TEMPORAL DE BIÓTOPOS: RELAÇÕES ECOSSISTÊMICAS DA USINA HIDRELÉTRICA BARRA DO BRAÚNA, MINAS GERAIS


TEMPORAL CARTOGRAPHY OF BIOTOPES: ECOSYSTEMS CONTRADICTIONS OF THE BARRA DO BRAÚNA HYDROELECTRIC, MINAS GERAIS

Gabriel Mendes Petito   

Mestrando em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de fora - MG, Brasil

Roberto Marques Neto   

Doutor em Geografia pela Universidade de São Paulo (USP), docente do departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGeo) da Universidade Federal de Juiz de Fora da (UFJF), Juiz de fora - MG, Brasil

DOI: 10.52832/wed.198.1164 



Resumo: A interferência humana nos ambientes naturais tem gerado controvérsias sobre o manejo dos componentes bióticos e abióticos da paisagem em que, muitas vezes, as justificativas para tais intervenções desconsideram princípios de equidade socioambiental. Diante disso, destaca-se a necessidade de promover ações coletivas que assegurem o uso projetivo dos recursos naturais, respeitando os processos de regeneração das biocenoses nos serviços ecossistêmicos. Em contribuição, a pesquisa tem por objetivo identificar e classificar a evolução nos biótopos suscitadas da instalação da UHE Barra do Braúna, analisando por meio da Cartografia temporal em dois diferentes períodos, as distinções apresentadas e evoluídas em momentos que antecedem à inundação provocada pela barragem (1985), bem como aos instantes atuais que concerne ao período pós instalação (2023). O processo periódico de alteração das comunidades bióticas que são direta ou indiretamente afetadas pelo represamento são oportunos para dimensionar a importância do estudo integrado da Geografia associada à Cartografia temporal na investigação das alterações da biocenose em função de sua estrutura ecossistêmica.

Palavras-chave: Paisagem. Alteração. Barragem. Biótopos.

Abstract: Human interference in natural environments has generated controversies regarding the management of the landscape's biotic and abiotic components, where the justifications for such interventions often disregard principles of socio-environmental equity. Consequently, the need to promote collective actions that ensure the planned/sustainable use of natural resources is highlighted, respecting the regeneration processes of biocenoses within ecosystem services. As a contribution, this research aims to identify and classify the evolution of biotopes caused by the installation of the Barra do Braúna Hydroelectric Power Plant (HPP). This is achieved by analyzing the distinctions presented and evolved through Temporal Cartography in two different periods: the moments preceding the dam's inundation (1985), and the current period concerning the post-installation phase (2023). The periodic process of change in biotic communities, which are directly or indirectly affected by the damming, provides a timely opportunity to measure the importance of the integrated study of Geography associated with Temporal Cartography in investigating biocenosis alterations as a function of their ecosystemic structure.

Keywords: Landscape. Change. Dam. Biotopes.

1 INTRODUÇÃO

É sabido que, ao passo do avanço nas proposições técnico-científicas de se manejar e interferir nas paisagens em busca do empreendimento energético, verifica-se que as possibilidades se tornam cada vez mais destacadas diante da diversidade ecológica dada pelas caracterizações climáticas nos trópicos. Em períodos turbulentos de mudanças climáticas, estar em face da geopolítica internacional através de um alicerce paradigmático de transição energética e de modelos técnicos de inovação, no Brasil, se enxerga oportunamente um potencial crescente no empreendimento hidrelétrico. No entanto, os médios e grandes empreendimentos de hidroeletricidade geram, por necessidade do represamento, alagamentos de magnitude alarmante e irreversível. (Marques, 2018).

Muito já se foi estudado e repercutido nos planos de manejo e licenciamento ambiental, no entanto as afirmativas e justificativas que circundam as intervenções antropogênicas na natureza,

poucas vezes prezam pela qualidade ambiental em seu estado de capacidade de regeneração. O que se nota, sobretudo nos médios e grandes empreendimentos, são medidas compensatórias e indenizatórias como minimização dos danos em diferentes esferas.

Isso pode ser percebido na crescente fragilização política e nos estudos projetivos e de percalço à legitimidade ambiental em função do potencial elétrico de construções interioranas como a UHE Barra do Braúna. Que são instaladas em lugares remotos e de difícil acesso para os trabalhadores e circulação dos recursos financeiros e de manutenção. Muitas dessas áreas não comportam estradas e nem possuem a infraestrutura necessária para assegurar esse novo consumo da paisagem, gerando consequências em escalas sistêmicas, ao qual cada um dos elementos circunscritos na paisagem serão afetados em uma medida mais acelerada do que a capacidade de minimização dos danos.

É por meio destas contradições que o processo periódico de alteração das comunidades bióticas que estão/são direta ou indiretamente afetadas pela construção de um reservatório são oportunos para dimensionar a importância do estudo integrado da Geografia e da cartografia temporal na investigação das alterações ecossistêmicas associadas. O que torna também, significativa sua capacidade de gerar informações base para futuros esforços, bem como a adequação do estudo investigativo-metodológico às paisagens circundantes do domínio dos mares de morro em Minas Gerais, que são espaços plenamente corriqueiros para exploração das atividades hidrelétricas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da pesquisa

As técnicas voltadas para o mapeamento de biótopos, ao longo dos anos, têm se mostrado eficazes ferramentas metodológicas na aplicação da cartografia no estudo da paisagem. Essencialmente, esse tipo de abordagem analisa as unidades taxonômicas no espaço e as classificam de acordo com os aspectos físicos, buscando a identificação dos padrões de uso e ocupação da terra. Nessa leitura, os biótopos consistem em elementos da paisagem que podem ser identificados de maneira escalar, considerando suas interações com o relevo, tipo de solo e níveis de vegetação (Marques Neto, 2015).

No que tange a isso, o conceito de biótopos, de acordo com Bedê *et al.* (1997) é difundido sob a perspectiva de um espaço que pode haver vida, mas não necessariamente abrigando a biocenose. Nessa proposta, as atividades bióticas são de relação inerente às conformações espaciais da paisagem regional, verificando a aproximação dos estudos concebidos a partir da relação entre os elementos, que não necessariamente dependem entre si para existir, mas que são intrinsecamente

relacionados em função da ocupação desse espaço. Os parâmetros diferenciadores dos diversos tipos de biótopos são a partir de sua estrutura física, onde, dependendo do caso, a divisão do espaço é comprometida à cobertura vegetal e às formas de manejo incidente.

Isso representa que a análise da distribuição diversa de biótopos em um dado recorte espacial deflagra a necessidade da interpretação da paisagem delimitada, classificando a vegetação inserida nas condições impostas por aquele espaço geográfico. Portanto, o mapeamento de biótopos referenciado em bases ecossistêmicas pode oferecer informações interessantes sobre as dinâmicas e transformações espaciais na área. Sob essas condições, a metodologia cartográfica tem se mostrado ferramenta plenamente oportuna e conveniente para produção de estudos concernentes à ocupação dos sistemas ambientais, os casos de: projetos de mineração e geração de energia; planejamento e preservação ambiental; reabilitação ambiental; desenvolvimento urbano e rural; lazer e turismo; planos diretores e expansão urbana; base para elaboração de leis orgânicas; base para diagnóstico e zoneamento de unidades de conservação, são cabíveis de se executar sob os parâmetros definidos pelas cartografias (Bedê *et al.*, 1997).

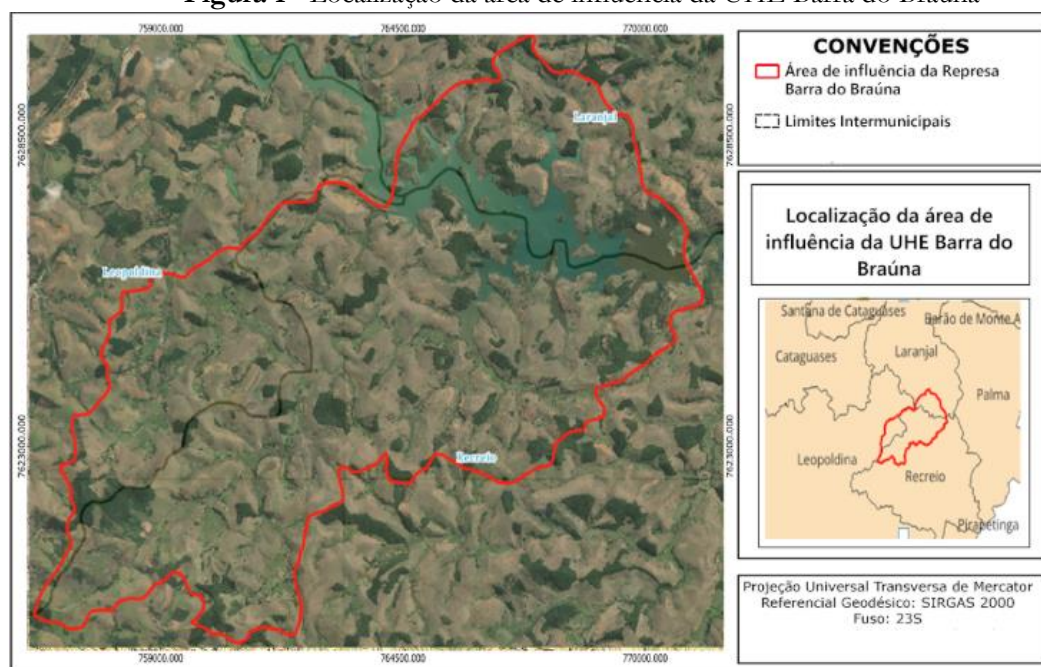
2.2 Área de estudo

A usina hidrelétrica Barra do Braúna (figura 1), se localiza na bacia do rio Paraíba do sul, porém presente no canal fluvial do Rio Pomba. Suas coordenadas: 21° 26' 59,6" S e 42° 24' 14,4" W (WGS 84) são referentes à divisa entre os municípios de Recreio e Laranjal, Minas Gerais, sua área de alagamento abrange, também, os municípios de Leopoldina e Cataguases, MG. No caso específico da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra do Braúna, cuja concessão para exploração foi oficializada por decreto em 19 de fevereiro de 2001, a Agência Nacional das Águas (ANA) considerou o empreendimento apto a Licença de operação (LO) para o uso ou intervenção nos recursos hídricos desse curso d'água somente após seu funcionamento. (Parecer nº 48/Semad/Supram Mata-Drra, 2020).

A visto disso, a Deliberação normativa COPAM nº 207 (2017), afirma que se trata de uma represa de médio porte com potencial classificatório poluidor classe 5. A implantação do empreendimento demandou a intervenção em 259,175 hectares em APP's, abrangendo tanto regiões de pastagem quanto fragmentos de vegetação nativa - aproximadamente 98.000 hectares que totalizam uma área de 12,5 km² e se prolongam por 18,5 km² no sentido montante. Sua instalação gerou com o fechamento da barragem uma lâmina d'água de 1245,63 hectares (12,5 km²) com 785,73 hectares correspondendo às terras inundadas e os outros 459,90 hectares é referente a calha do rio, possuindo uma cota de elevação de 152 metros. (Parecer N° 48, 2020).

A formalização do processo de licenciamento ambiental deu-se inicialmente em 16/04/2004 através do plano de controle ambiental (PCA) solicitado à Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) que, posteriormente, em 2006 deliberou a documentação necessária para Licença de instalação (LI) da Usina. No ano seguinte, iniciou sua instalação e em 2009 teve a licença permitida para geração de energia elétrica referendada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), iniciando as atividades da UHE Barra do Braúna.

Figura 1 - Localização da área de influência da UHE Barra do Braúna



Fonte: Autores, 2025.

2.3 Metodologia da pesquisa

Na secção organizativa dos instrumentos metodológicos para construção da pesquisa, foi importante elencar hierarquicamente métodos cartográficos sobrepostos para melhor visualização dos arranjos na paisagem. Em muitos planos o imageamento de satélite através do *Google Earth Engine* pode revelar um processo histórico de comparação em diferentes escalas que não é oferecido detalhadamente em outras plataformas, no entanto, podem generalizar levantamentos fundamentais para compreender o dimensionamento topográfico dos padrões das vertentes. Por isso, é importante que haja uma progressão na utilização das ferramentas cartográficas.

Para localização da Usina, utilizou-se as imagens de satélites oferecidas pela plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) em que oferece a gama de camadas dinamizadas à interesses do pesquisador para se aplicar na escala analisada. Neste caso, foi adicionado à interpretação da paisagem a diferença temporal por meio do ano mais antigo que possa se acessar de imageamento

orbital (1985), que antecedem a instalação da Usina, e as imagens mais recentes oferecidas no banco de dados da plataforma no início da pesquisa (2023). As primeiras cartografias foram geradas por meio de uma classificação de *pixel por pixel (Landsat)*, utilizando algoritmos avançados de aprendizado de máquina na plataforma, que oferece uma enorme capacidade de processamento em nuvem.

A escolha da escala de 1:50.000 foi orientada principalmente pelo ajuste de 03 cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE (1975) dos municípios que são diretamente afetados pela área de influência da represa. Sendo eles: Recreio; Laranjal; Leopoldina. A escala oferece alusão à grandeza da área de influência, sem comprometer o levantamento detalhado das mudanças perceptíveis direta ou indiretamente afetadas pelo alagamento. Isso foi feito por meio do ajuste manual das cartas e por meio do *software* do Qgis que oferece a adaptação das projeções cartográficas, como também a possibilidade de transformar em mosaicos apenas a paisagem a ser estudada, isto é, a união das 04 cartas topográficas disparatadas na mesma projeção cartográfica.

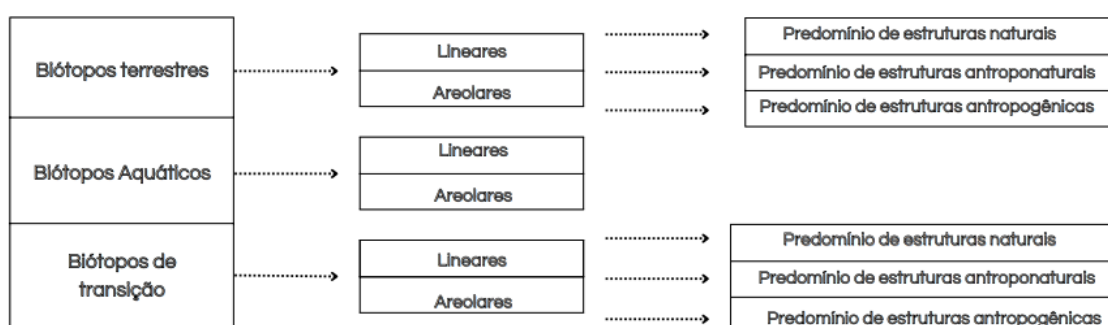
Além disso, as cartas topográficas disponibilizadas pelo Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx) também são associáveis à plataforma Qgis o que facilitou o manuseio das cartas em tempo real para sua delimitação, além de ser uma base topográfica dinâmica para sua aplicação em outras cartografias da mesma paisagem. Os dados são processados concomitantemente à escala seccionada, ou seja, é possível que exista a sobreposição dos mosaicos para visualização plena dos domínios das vertentes e das planícies, associando inicialmente as informações topográficas às imagens orbitais o que otimiza a observação dos elementos.

A parametrização classificatória dos biótopos (figura 2) da pesquisa foi principalmente organizada e inspirada pela amostragem do exercício de pesquisa nas obras de Marques Neto (2006); (2013); (2015), Rodriguez *et al.* (2010), Troppmair (1984) e Bedê *et al.* (1997). Classifica-se, portanto, perante a hierarquização dos biótopos sobrepostos na paisagem, são eles, segundo sua natureza: Biótopos terrestres, aquáticos e de transição, segundo sua forma: Lineares e Areolares. Por fim, o grau de inserção das técnicas e estruturas antrópicas em Biótopos com predomínio de estruturas antroponaturais e estruturas antropogênicas. (Marques Neto, 2013).

Essas métricas foram trazidas por Bedê *et al.* (1994), reformuladas por Rodriguez *et al.* (2010), e retomadas por Marques Neto (2013), significando os Biótopos a três diferentes tipos de intervenções antrópicas: predomínio de estruturas naturais; predomínio de estruturas antroponaturais e predomínio de estruturas antropogênicas. Na pesquisa que aqui se propõe, reconhece-se que as estruturas naturais são aquelas que se referem a paisagens transformadas que são relativamente conservadas em função do grau de suas alterações, assimilando, remanescentes de vegetação nativa; formações florestais; estruturas abandonadas com vegetação presente. No caso

das estruturas antroponaturais, podem ser notadas através de inscrições como: diferentes formas do relevo cobertas pastagem; pastos sujo; pastos com vegetação em regeneração; cafezais; bananiculturas; ilhas com vegetação herbáceo arbustiva; fragmentos florestais em regeneração. Por fim, as estruturas antropogênicas que concernem conjunto das alterações antrópicas, visualizadas por áreas de uso industrial; sítios; chacreamentos e haras; pequenas capoeiras, bairros edificadas.

Figura 2 - Classificação dos biótopos.



Fonte: Adaptado de Marques Neto (2013).

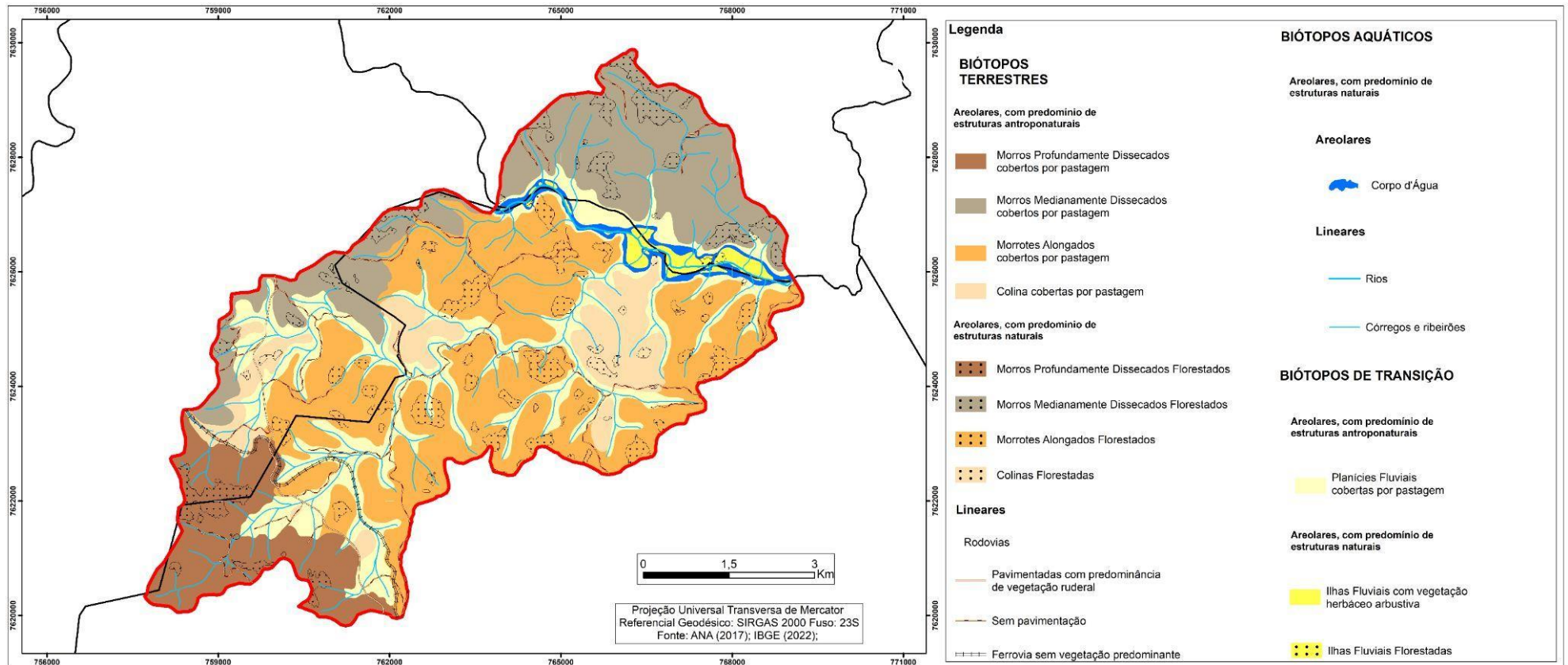
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os ditos anteriores, a classificação e mapeamento dos dados fez-se da utilização da escala em 1:50.000 para dois diferentes períodos temporais: 1985 (figura 3) e 2023 (figura 4). A partir desta, delimitou-se principais áreas para serem deferidas em campo, possibilitando possíveis correções nas distorções da realidade distorcida. Para que isso fosse viável, foi necessário também ajustar em contraposições e relações os levantamentos cartográficos anteriores. Isso permite compreender as influências dos elementos perante suas localizações morfológicas e de cobertura vegetal. Nas Figuras 3 e 4, é necessário visualizar a classificação dos biótopos através das categorias destacadas anteriormente:

I - Quanto à natureza; II - Quanto à forma e III - Quanto ao Estado ambiental.

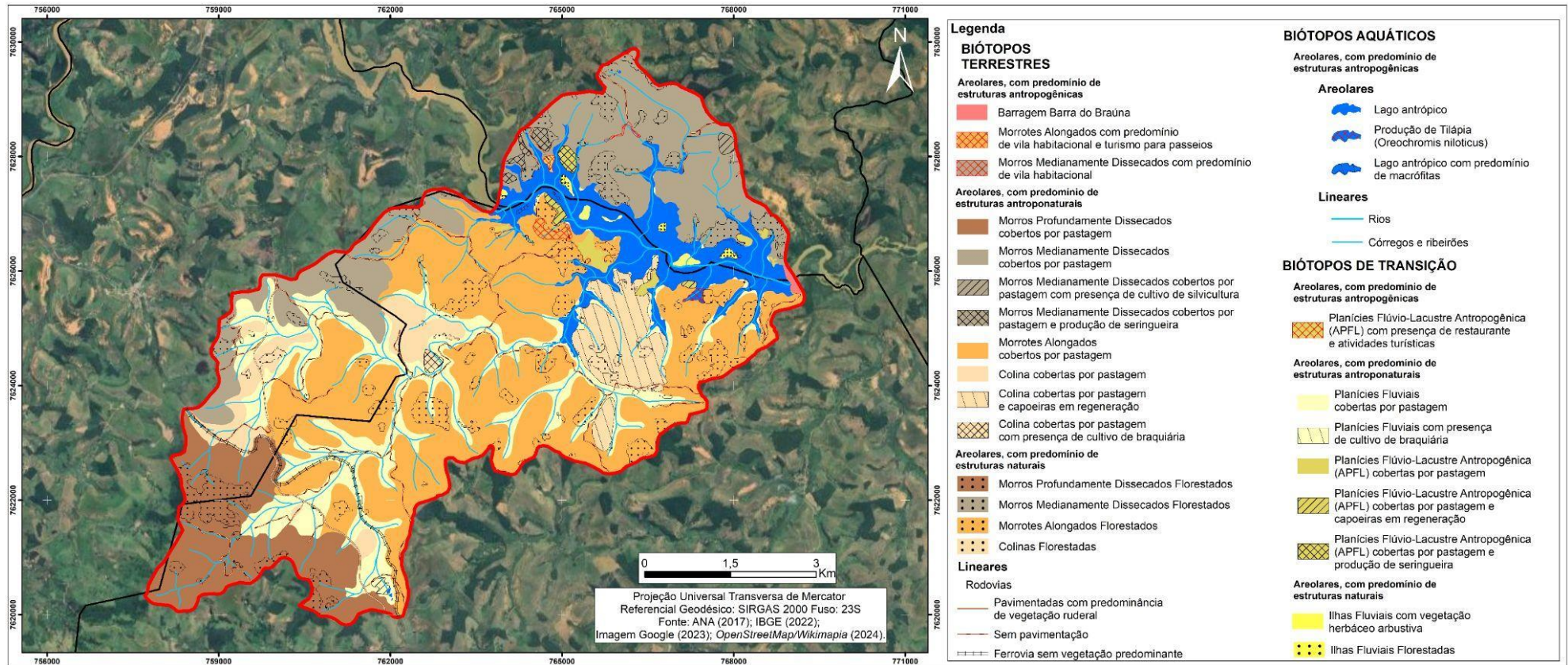
A estrutura geral da classificação parte do agrupamento nas categorias em Biótopos Terrestres areolares e lineares. Biótopos aquáticos areolares e lineares. Biótopos de transição. Cada um destes apresenta predomínio de estruturas com influência do grau de interação das relações humanas com a natureza e forma dos biótopos. Esses podem ser percebidos em: predomínio de estruturas naturais; antroponaturais; antropogênicas.

Figura 3 - Mapa de Biótopos em 1985 da área de influência da UHE Barra do Braúna.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 4 - Mapa de Biótopos em 2023 da área de influência da UHE Barra do Braúna.



Fonte: Autores, 2025.

Para representação dos contrastes entre as duas cartografias, foi necessário o ajuste das incongruências e generalizações promovidas pelas projeções das escalas. Dessa forma, diferentes níveis de intervenção nas paisagens foram melhor dimensionados após a diferenciação nas escalas detalhes, em campo. Cada uma das categorias previamente estabelecidas por meio das projeções evidenciadas no ano de 1985, foram estratificadas em novas configurações ecossistêmicas com com outras caracterizações de manejo em função de suas condições geomorfológicas.

Na figura 5, é possível classificar as categorias mensuradas após a instalação da Represa.

Figura 5 - Classificação dos Biótopos na área de influência da UHE em 2023.

Tipo de Biótopo	Descrição
Biótopos Terrestres Areolares com predomínio de estruturas antropogênicas	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de uso urbano industrial • Bairros edificadas sobre morros • Sítios; Chacreamentos; Haras. • Urbanização rarefeita com capões
Biótopos Terrestres Areolares com predomínio de estruturas antroponaturais	<ul style="list-style-type: none"> • Morros profundamente dissecados cobertos por pastagens • Morros medianamente dissecados cobertos por pastagens • Morrotes alongados cobertos por pastagens • Colinas cobertas por pastagens
Biótopos Terrestres Areolares com predomínio de estruturas naturais	<ul style="list-style-type: none"> • Morros profundamente dissecados florestados • Morros medianamente dissecados florestados • Morrotes alongados florestados • Colinas florestadas
Biótopos Terrestres Lineares	<ul style="list-style-type: none"> • Rodovias pavimentadas • Rodovias sem pavimentação
Biótopos Aquáticos Areolares	<ul style="list-style-type: none"> • Lago antrópico
Biótopos Aquáticos Lineares	<ul style="list-style-type: none"> • Rios • Córregos e ribeirões
Biótopos de Transição Areolares com predomínio de estruturas antropogênicas	<ul style="list-style-type: none"> • Planícies fluviais cobertas por pastagens • Planícies-flúvio-lacustre antropogênicas cobertas por pastagem
Biótopos de Transição Areolares com predomínio de estruturas antroponaturais	<ul style="list-style-type: none"> • Ilhas Fluviais com vegetação herbáceo arbustiva • Ilhas Fluviais florestadas

Fonte: Autores, 2025.

A interpretação dos contrastes cartográficos nos diferentes tempos permite compreender que as dinamizações ecossistêmicas suscitadas da criação do reservatório deflagram categorias disruptivas na qualidade ambiental e no processo de preservação dos elementos bióticos e abióticos. Para o funcionamento da Usina teve que se demandar a chegada de trabalhadores e mobilização de recursos, o que fica evidente no aumento nos números de centros habitacionais como vilas e condomínios. É perceptível também o aumento de estabelecimentos turísticos para entretenimento e lazer devido à temporadas de pesca esportiva e passeios de barcos.

Diante do exposto, portanto, vê-se que cada uma das categorizações salientadas nos mapas evidencia relações diretas entre a transformação ecossistêmica e topológicas para condições, agora, de ajuste às imposições ambientais consonantes à instalação. Antigos moradores deslocados; criação de condomínio de luxo; restaurantes turísticos; passeios de barco; aumento no número de pasto sujo e sem criação de gado, aumento na formação de ilhas; aparecimento de produção de silvicultura. Assim, é por meio da coletivização destes que se faz fundamental projetar usos e usufrutos dos recursos naturais sob uma medida sistêmica e equitativa aos diferentes sujeitos a serem impactados.

4 CONCLUSÃO

À vista desses fatores, conclui-se que a área de influência da UHE é predominantemente ocupada por pastagens, sendo limpas ou sujas, com capoeiras em regeneração ou já em estágios avançados de regeneração. Ocupadas na maior parte das vezes por gado para corte, com currais e fazendas disparatadas entre si, comumente pequenas estruturas rurais com grandes extensões de cercamento. Nas áreas mais limítrofes do reservatório observa-se crescimento exponencial das manifestações antropogênicas pela presença de restaurantes com passeios para turismo, produção e venda de peixes para região, condomínios de luxo com aluguel para temporada, além de grandes embarcações para circulação de pessoas. Essas estruturas apresentam relação direta do usufruto da conformação das paisagens após a instalação da barragem e criação do reservatório, visto que áreas marginais foram plenamente rearranjadas para ocupações socioeconômicas. Restaurantes e vilas surgem como resposta imediata às alterações.

Áreas de proteção ambiental também são bastantes visíveis na paisagem, geralmente presentes em propriedade privadas ausente de quaisquer conexões entre outras formações florestais. A cobertura vegetal é predominantemente ocupada pelas pastagens, mas algumas delas são isoladas e apresentam estado ambiental de regeneração, sendo notavelmente caracterizada pela vegetação herbácea-arbustiva, com capins e mato seco.

Diante dessas naturezas, analisar tais comportamentos permite compreender em diversas escalas de intervenção, a inter-relação sobreposta do substrato físico e a cobertura da biocenose que são diretamente suscitadas do represamento. Verifica-se, portanto, conformações ambientais que evoluíram em concomitância à criação reservatório, visto que se trata de uma área homogênea com habitações disparatadas entre si com áreas cedidas para ocupação da lâmina d'água, possibilitando através das novas paisagens a evolução dos biótopos terrestres areolares com predomínio de estrutura antropogênicas.




REFERÊNCIAS

- BEDÊ, L. C.; WEBER, M.; RESENDE, S.; PIPER, *et al.* **Manual para mapeamento de biótopos no Brasil: base para um planejamento ambiental eficiente.** Belo Horizonte: Fundação Alexander Brandt, 1997. 146p.
- GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer nº 48/SEMAD/SUPRAM MATA-DRRA/2020. Licenciamento Ambiental 1542/2020. **Renovação de Licença de Operação da Usina Hidrelétrica Barra do Braúna.** 2020.
- IBGE. **Folha Leopoldina** (SF-23-X-D-V-2), 1975.
- _____. **Folha Recreio** (SF.23-X-D-VI-1), 1975.
- _____. **Folha Laranjal** (SF-23-X-0-II-4), 1975.
- MARQUES, L. Capitalismo e colapso ambiental. 3. ed. rev. e ampl. Campinas, SP: **Editora da Unicamp**, 2018. 736 p. ISBN 978-85-268-1468-4
- MARQUES NETO, R.; VIADANA, A. G. Abordagem biogeográfica sobre a fauna silvestre em áreas antropizadas: o sistema Atibaia-Jaguari em Americana (SP). **Sociedade e Natureza**, Ano 18, n. 35, p. 5-21, 2006.
- MARQUES NETO, R. Zoogeografia em ambientes de represas: estudo na área sob influência do Reservatório de Salto Grande - Rio Atibaia, Depressão Periférica Paulista. **Revista de Geografia**, v. 3, p. 1, 2013.
- MARQUES NETO, R. A questão da escala na cartografia biogeográfica: uma proposta de mapeamento de biótopos em São Lourenço (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 16, p. 201-214, 2015.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 3º ed. Fortaleza: edições UFC, 2010. 222p.
- TROPPMAIR, H. Biotopos: importância e caracterização. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 14, n. 27-28, p. 57-67, 1984.


CAPÍTULO 15

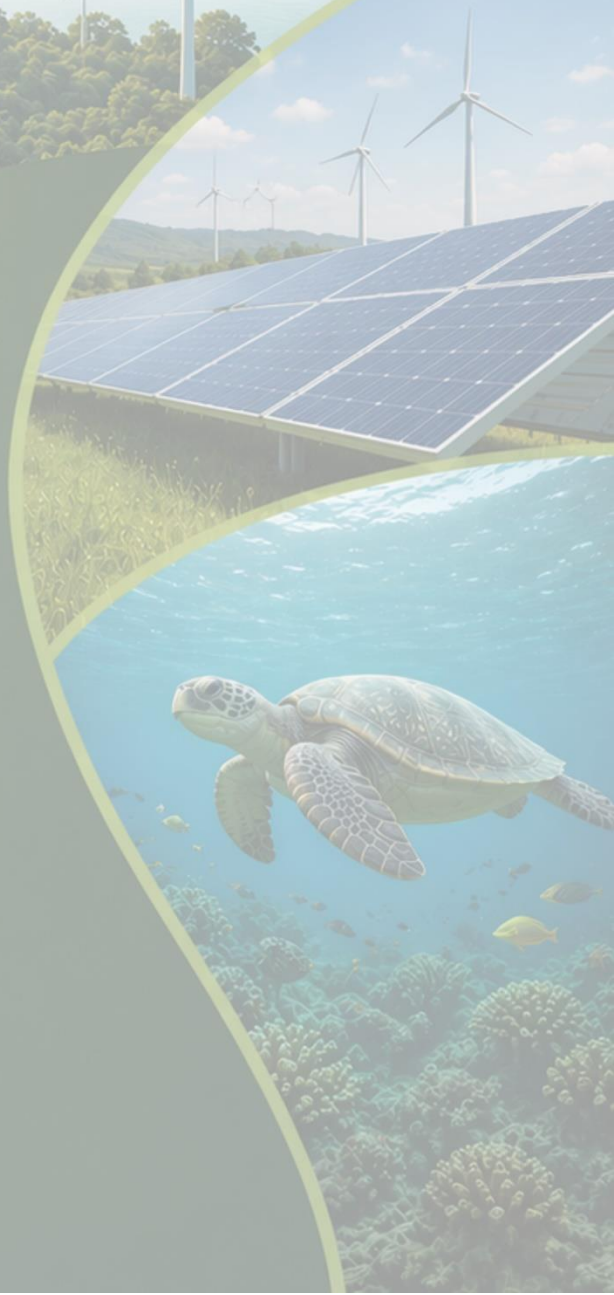
REGIÃO SUDESTE COMO EPICENTRO DA MALÁRIA EXTRA-AMAZÔNICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE EPIDEMIOLÓGICA DOS CASOS NOTIFICADOS NO PERÍODO DE 2007 A 2024

SOUTHEAST REGION AS THE EPICENTER OF EXTRA-AMAZONIAN MALARIA IN BRAZIL: AN EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF REPORTED CASES FROM 2007 TO 2024

Aquirya Pinheiro Costa   

Doutora em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados-MS, Brasil

DOI: [10.52832/wed.198.1165](https://doi.org/10.52832/wed.198.1165) 



Resumo: O estudo analisou o nicho ecológico da malária na região Sudeste do Brasil, área considerada extra-amazônica, porém responsável pela maior carga de casos notificados no SINAN entre 2007 e 2024. Foram utilizados dados agregados do TabNet/DATASUS para descrever a distribuição espaço-temporal dos casos por unidade federativa e comparar a participação do Sudeste em relação às demais regiões extra-amazônicas (Nordeste, Centro-Oeste e Sul). No período estudado, foram registrados 12.978 casos de malária nas regiões extra-amazônicas, dos quais 6.303 ($\approx 48,6\%$) ocorreram no Sudeste, confirmando a região como principal polo de incidência fora da Amazônia Legal. Observou-se tendência geral de redução do número anual de casos no Sudeste, com valores mais elevados entre 2007 e 2012 e patamar inferior, porém persistente, nos anos subsequentes, sugerindo manutenção de receptividade ecológica e social à doença. No interior da região, São Paulo concentrou cerca de 44,5% dos casos, seguido por Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, o que se alinha à literatura que descreve o Sudeste como importante receptor de casos importados e cenário de transmissão esporádica em ambientes específicos. Esses achados reforçam a necessidade de integrar análises epidemiológicas e ecológicas para identificar ambientes potencialmente favoráveis à malária em área de baixa endemicidade, subsidiando estratégias de vigilância e controle mais direcionadas no contexto da eliminação da doença no Brasil.

Palavras-chave: Extra-Amazônia. Distribuição espacial. Perfil epidemiológico. Notificação de casos. Doenças infecciosas emergentes.

Abstract: This study analyzed the ecological niche of malaria in the Southeast region of Brazil, an area considered outside the Amazon region, but responsible for the largest number of cases reported in the SINAN (National System of Notifiable Diseases) between 2007 and 2024. Aggregated data from TabNet/DATASUS were used to describe the spatiotemporal distribution of cases by federative unit and to compare the participation of the Southeast region in relation to the other non-Amazonian regions (Northeast, Central-West, and South). During the study period, 12,978 cases of malaria were registered in the non-Amazonian regions, of which 6,303 ($\approx 48.6\%$) occurred in the Southeast, confirming the region as the main incidence center outside the Legal Amazon. A general trend of reduction in the annual number of cases was observed in the Southeast, with higher values between 2007 and 2012 and a lower, but persistent, level in subsequent years, suggesting the maintenance of ecological and social receptivity to the disease. Within the region, São Paulo accounted for approximately 44.5% of cases, followed by Rio de Janeiro, Minas Gerais, and Espírito Santo. This aligns with the literature describing the Southeast region as a significant recipient of imported cases and a setting for sporadic transmission in specific environments. These findings reinforce the need to integrate epidemiological and ecological analyses to identify potentially malaria-friendly environments in areas of low endemicity, supporting more targeted surveillance and control strategies in the context of disease elimination in Brazil.

Keywords: Extra-Amazon. Spatial distribution. Epidemiological profile. Case notification. Emerging infectious diseases.

1 INTRODUÇÃO

A malária permanece como um dos agravos infecciosos de maior relevância em saúde pública global, com centenas de milhões de casos e centenas de milhares de óbitos anuais, concentrados sobretudo na África subsaariana, mas ainda com impacto significativo nas Américas e no Brasil. No contexto brasileiro, a transmissão mantém-se historicamente focalizada na Amazônia Legal, responsável por cerca de 99% dos casos autóctones, enquanto o restante do

território nacional é classificado como região extra-amazônica, caracterizada por baixa incidência, predominância de casos importados e maior letalidade relativa.

Apesar de responder por pequena fração da carga nacional, a malária extra-amazônica apresenta particularidades que a tornam relevante do ponto de vista epidemiológico e organizacional: a maioria dos casos ocorre em indivíduos que retornam de áreas endêmicas, o diagnóstico frequentemente é tardio, os serviços de saúde têm menor familiaridade clínica com a doença e a vigilância depende de sistemas de notificação sensíveis e oportunos. Nesse cenário, a região Sudeste destaca-se como principal polo de casos fora da Amazônia Legal, concentrando quase metade das notificações registradas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) entre 2007 e 2024, conforme dados agregados do TabNet/DATASUS. Tal centralidade reflete não apenas o elevado fluxo de viajantes e migrantes entre o Sudeste e áreas endêmicas, nacionais e internacionais, mas também a presença de grandes centros urbanos, serviços de referência e capacidade diagnóstica que tendem a captar e registrar um número expressivo de episódios.

Estudos anteriores sobre malária fora da Amazônia têm enfatizado a descrição clínica de casos, análises de séries temporais agregadas e investigações de surtos pontuais em estados específicos, apontando a persistência de transmissão esporádica e o desafio de evitar óbitos em áreas consideradas não endêmicas. Contudo, são ainda escassos os trabalhos que examinam de forma sistemática o papel da região Sudeste como “epicentro” da malária extra-amazônica no período recente, articulando a evolução temporal dos casos notificados, a distribuição entre unidades federativas e as implicações para a vigilância em saúde e para a agenda de eliminação da doença no país. Nesse sentido, analisar o comportamento da malária na região Sudeste, com base em uma série histórica abrangente de casos notificados entre 2007 e 2024, contribui para compreender melhor a dinâmica desse agravo em área de baixa endemicidade, subsidiando o planejamento de ações de prevenção, diagnóstico oportuno e manejo adequado de casos importados e autóctones em um cenário de transição rumo à eliminação da malária no Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo adotou delineamento epidemiológico observacional, de caráter descritivo, com base em dados secundários provenientes de sistema oficial de informação em saúde. Foram analisados os casos confirmados de malária notificados no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), acessados por meio da plataforma TabNet do Departamento de Informática do SUS (DATASUS), no período de 1º de janeiro de 2007 a 31 de dezembro de 2024.

Foram incluídos todos os casos confirmados de malária cuja unidade de notificação pertencia à região Sudeste do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo), independentemente do provável local de infecção, de modo a contemplar tanto casos autóctones quanto importados de outras regiões do país ou do exterior. Para fins comparativos, foram também extraídos, na mesma consulta, os totais anuais de casos notificados nas demais regiões extra-amazônicas (Nordeste, Sul e Centro-Oeste), permitindo situar o peso relativo do Sudeste no conjunto nacional extra-amazônico. As variáveis selecionadas para análise incluíram: ano de notificação, região de notificação, unidade federativa de notificação e número de casos confirmados, agregados em tabelas anuais por região e por UF.

Os dados foram exportados do TabNet em formato compatível com planilha eletrônica, organizados e consolidados em arquivo único para cálculo de frequências absolutas e relativas. Para a região Sudeste e para cada uma de suas unidades federativas, foram construídas séries temporais do número anual de casos, com elaboração de gráficos de linha para visualização da tendência ao longo do período de estudo. Adicionalmente, calcularam-se a participação percentual do Sudeste no total de casos das regiões extra-amazônicas e as proporções internas de casos entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, ao longo de todo o intervalo 2007–2024.

A tendência temporal do número anual de casos na região Sudeste foi avaliada por meio de análise de regressão simples, considerando o ano de notificação como variável independente e o número de casos como variável dependente, com o objetivo de identificar possível declínio ou mudança de patamar ao longo da série histórica. Quando pertinente, foram estimadas proporções com respectivos intervalos de confiança de 95%, de forma a descrever com maior precisão a contribuição relativa do Sudeste em comparação às demais regiões extra-amazônicas. Todas as etapas de tabulação e análise descritiva foram realizadas em planilha eletrônica, respeitando-se o caráter agregado e anonimizado dos dados disponibilizados publicamente pelo DATASUS, o que dispensa apreciação por comitê de ética em pesquisa segundo a legislação brasileira vigente para estudos com dados secundários de domínio público.

2.1 Caracterização da pesquisa

A malária é uma doença infecciosa parasitária causada por protozoários do gênero *Plasmodium*, transmitidos por mosquitos do gênero Anopheles, e permanece como uma das principais causas de morbimortalidade em países de baixa e média renda, apesar da expansão de medidas de controle e do avanço recente de vacinas em áreas de alta transmissão (WHO, 2023; WHO, 2025). Relatórios globais da Organização Mundial da Saúde indicam que, em 2022,

ocorreram centenas de milhões de casos e mais de meio milhão de óbitos por malária, com forte concentração na África subsaariana, mas com manutenção de transmissão em diferentes países da Ásia e da América Latina, incluindo o Brasil (WHO, 2023). No contexto latino-americano, o país figura entre aqueles com maior carga de casos, ainda que apresente tendência de redução de longo prazo e metas oficiais de eliminação, definidas em planos nacionais recentes (Souza *et al.*, 2024; Ministério da Saúde, 2024).

A epidemiologia da malária no Brasil é marcada por acentuada heterogeneidade espacial: a Amazônia Legal concentra aproximadamente 99% dos casos autóctones, enquanto o restante do território é classificado como região extra-amazônica, caracterizada por baixa incidência, predominância de casos importados e maior letalidade proporcional (Lacerda *et al.*, 2014; Gurgel *et al.*, 2022). Estudos publicados em periódicos de alto impacto, como Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Malaria Journal e The Lancet Regional Health – Americas, mostram que, na região extra-amazônica, a maioria dos episódios está associada a viagens a áreas endêmicas da Amazônia brasileira ou de outros países, e que o atraso diagnóstico, a menor suspeição clínica e a experiência limitada dos serviços com a doença contribuem para um risco aumentado de desfechos graves e óbitos (Lacerda *et al.*, 2014; Gurgel *et al.*, 2022; Figueiredo *et al.*, 2022). Análises de séries temporais em nível nacional evidenciam que, embora o número absoluto de casos fora da Amazônia seja pequeno em comparação à região endêmica, há persistência de transmissão esporádica e ocorrência de óbitos evitáveis em estados considerados não endêmicos, o que representa obstáculo relevante às metas de eliminação (Souza *et al.*, 2024; Gurgel *et al.*, 2022; Ferreira; Castro, 2022).

Dentro desse cenário extra-amazônico, a região Sudeste tem sido destacada como um dos principais polos de notificação de malária, concentrando parcela expressiva dos casos registrados em estados de alta mobilidade populacional e intensa circulação de pessoas, como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Lacerda *et al.*, 2014; Gurgel *et al.*, 2022). Estudos que investigam a malária fora da Amazônia descrevem o Sudeste como um “hub” de casos importados, recebendo indivíduos provenientes da Amazônia Legal, de fronteiras amazônicas internacionais e de outros países endêmicos, além de registrar episódios autóctones em contextos ecológicos específicos, como áreas rurais ou de fragmentos de Mata Atlântica (Lacerda *et al.*, 2014; Gurgel *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2020). Essa condição de baixa endemicidade com risco concentrado em grupos expostos por viagens, trabalho ou turismo torna a vigilância dependente de sistemas sensíveis de notificação e de capacidade diagnóstica distribuída em serviços que historicamente não lidam de forma rotineira com a doença (Lacerda *et al.*, 2014; Figueiredo *et al.*, 2022; Gurgel *et al.*, 2022).

Metodologicamente, o uso de dados secundários de sistemas de informação em saúde, como o Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) e bases específicas de

vigilância da malária, é amplamente consolidado em pesquisas de alto impacto, permitindo a análise de séries temporais, perfis sociodemográficos e padrões espaciais em diferentes escalas (Gurgel *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2024; Sivep-Malária, Ministério da Saúde, 2024). Trabalhos que avaliam a malária na região extra-amazônica empregam abordagens descritivas e modelos de séries temporais para estimar tendência, sazonalidade e possíveis pontos de inflexão, bem como para mapear áreas com maior concentração de casos em estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná (Gurgel *et al.*, 2022; Lacerda *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2017). Revisões e análises multicêntricas ressaltam que, mesmo em contextos de baixa incidência, a compreensão da distribuição temporal e geográfica dos casos notificados é fundamental para orientar estratégias de vigilância, prevenção de surtos e fortalecimento da capacidade de resposta dos serviços de saúde (Lacerda *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2024; Ferreira; Castro, 2022).

Nesse marco teórico, justifica-se a adoção de um delineamento observacional descritivo, baseado em dados secundários do SINAN acessados via TabNet/DATASUS, com foco na região Sudeste do Brasil, reconhecida como principal área de concentração relativa de casos de malária no contexto extra-amazônico entre 2007 e 2024 (Gurgel *et al.*, 2022). Ao analisar a evolução temporal e a distribuição dos casos notificados nessa região, a pesquisa dialoga com a literatura nacional e internacional sobre malária fora da Amazônia, contribuindo para esclarecer o papel do Sudeste na dinâmica contemporânea da doença e oferecendo subsídios para o aprimoramento da vigilância epidemiológica, do diagnóstico oportuno e do manejo de casos importados e autóctones em território formalmente não endêmico, mas ecologicamente e socialmente receptivo à ocorrência de malária (Lacerda *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2024; Silva *et al.*, 2023).

2.2 Área de Estudo e Público-alvo

A área de estudo compreende a região Sudeste do Brasil, composta pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, considerada área extra-amazônica em relação à principal zona endêmica de malária situada na Amazônia Legal. A escolha desse recorte geográfico fundamenta-se em evidências de que o Sudeste concentra a maior proporção de casos de malária notificados fora da Amazônia, desempenhando papel central na carga extra-amazônica do país no período analisado.

O público-alvo da pesquisa corresponde aos casos confirmados de malária notificados ao Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) cuja unidade de notificação pertence a algum dos quatro estados da região Sudeste, entre os anos de 2007 e 2024, independentemente de o caso ser autóctone ou importado de outras regiões do Brasil ou do exterior. Dessa forma, o estudo volta-se à caracterização epidemiológica desses episódios notificados, tomando os registros

agregados como unidade de análise, com vistas a compreender o comportamento da malária em uma região formalmente não endêmica, mas de elevada relevância na dinâmica extra-amazônica da doença.

2.3 Metodologia da pesquisa

A pesquisa adotou uma metodologia epidemiológica observacional, de natureza quantitativa e caráter descritivo, fundamentada na análise de dados secundários provenientes de sistema oficial de informação em saúde. O estudo foi desenvolvido a partir dos registros de casos confirmados de malária notificados ao Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), acessados em base pública eletrônica, no período de 2007 a 2024, com recorte específico para a região Sudeste do Brasil.

Inicialmente, foram realizados procedimentos de extração dos dados agregados referentes ao número anual de casos de malária por região e por unidade federativa, selecionando-se todos os registros cuja unidade de notificação pertencesse aos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, bem como os totais das demais regiões extra-amazônicas para fins de comparação. Os dados foram exportados para planilha eletrônica, organizados em tabelas que contemplavam, como variáveis principais, o ano de notificação, a região de notificação, a unidade federativa de notificação e o número de casos confirmados.

A análise consistiu, em um primeiro momento, na realização de estatística descritiva, com cálculo de frequências absolutas e relativas dos casos de malária por ano, por região e por unidade federativa, permitindo quantificar a participação da região Sudeste no total de casos extra-amazônicos e a distribuição interna entre seus quatro estados. Em seguida, foram construídas séries temporais do número anual de casos para a região Sudeste como um todo e para cada unidade federativa, com elaboração de gráficos de linha para visualização da tendência ao longo do período de 2007 a 2024, buscando identificar padrões de redução, estabilização ou variação do agravo.

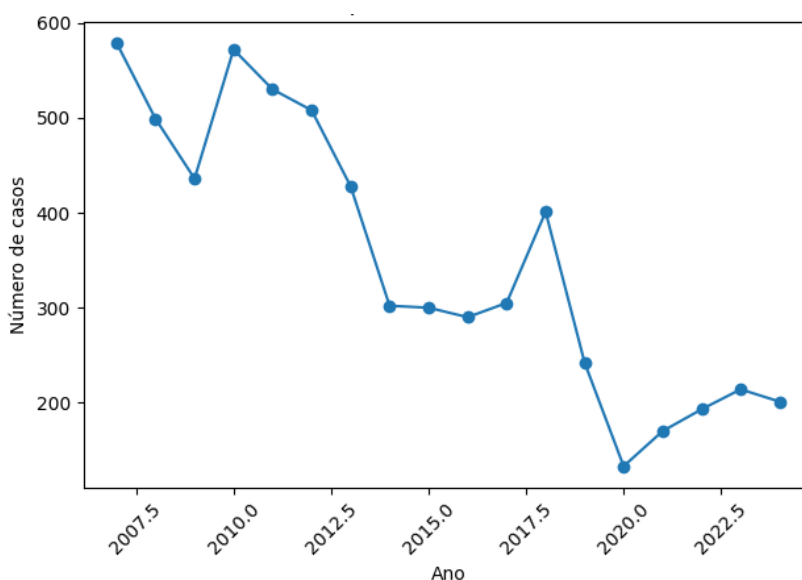
Complementarmente, procedeu-se ao cálculo da proporção de casos de malária da região Sudeste em relação ao conjunto das regiões extra-amazônicas em todo o intervalo estudado, bem como das proporções internas de casos entre São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, com o intuito de caracterizar o papel relativo de cada estado na carga regional da doença. A tendência temporal do número anual de casos na região Sudeste foi examinada por meio de modelo simples de regressão, considerando o ano como variável independente e o número de casos como variável dependente, com vistas a testar estatisticamente a presença de declínio ao longo da série histórica, procedimento usual em estudos de séries temporais de malária no Brasil. Todas as análises foram realizadas a partir de dados agregados, anonimizados e de domínio público, em

conformidade com as diretrizes éticas nacionais para pesquisas que utilizam bases secundárias oficiais em saúde.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da série temporal entre 2007 e 2024 evidencia uma tendência geral de redução no número de casos, embora com oscilações interanuais ao longo do período (Figura X). Em 2007, foi registrado o maior valor da série (579 casos), mantendo-se níveis elevados até 2012, apesar de variações anuais. Esse padrão inicial sugere um período de maior incidência ou maior eficiência nos sistemas de registro, figura 1.

Figura 1 - Série temporal e casos, 2007-2024.



A partir de 2013, observa-se uma redução mais consistente, com os valores aproximando-se de 300 casos entre 2014 e 2017. Esse declínio pode estar associado a mudanças estruturais, como a implementação de políticas públicas, estratégias de controle mais eficazes ou alterações no contexto socioambiental, refletindo uma possível inflexão no padrão temporal.

Em 2018, ocorreu um aumento pontual no número de casos (401), interrompendo temporariamente a tendência de queda. Esse incremento pode indicar a ocorrência de eventos específicos, como surtos localizados, mudanças na vigilância epidemiológica ou maior sensibilidade dos sistemas de notificação naquele ano. No entanto, a retomada da redução em 2019 (242 casos) reforça o caráter episódico desse aumento.

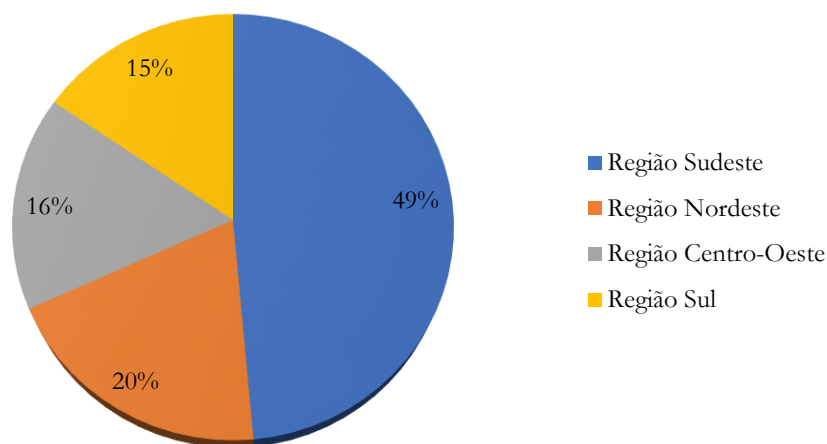
O ano de 2020 apresentou o menor número de casos da série (133), o que pode estar relacionado a fatores excepcionais, como restrições operacionais, redução no acesso aos serviços ou subnotificação, fenômenos amplamente descritos na literatura recente. Nos anos subsequentes,

verificou-se uma recuperação gradual dos registros, com aumento progressivo até 2023, seguido por leve redução em 2024. Ainda assim, os valores permaneceram substancialmente inferiores aos observados no início da série, indicando que a tendência de longo prazo continua sendo de declínio.

De forma geral, os resultados sugerem que, apesar das flutuações anuais, houve uma redução estrutural dos casos ao longo do período analisado. A análise integrada dos resultados reforça a importância de séries históricas extensas para a identificação de tendências, pontos de inflexão e possíveis impactos de eventos externos ou intervenções institucionais. Investigações futuras que incorporem variáveis explicativas adicionais, como fatores ambientais, demográficos ou institucionais, podem contribuir para uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos subjacentes aos padrões observados.

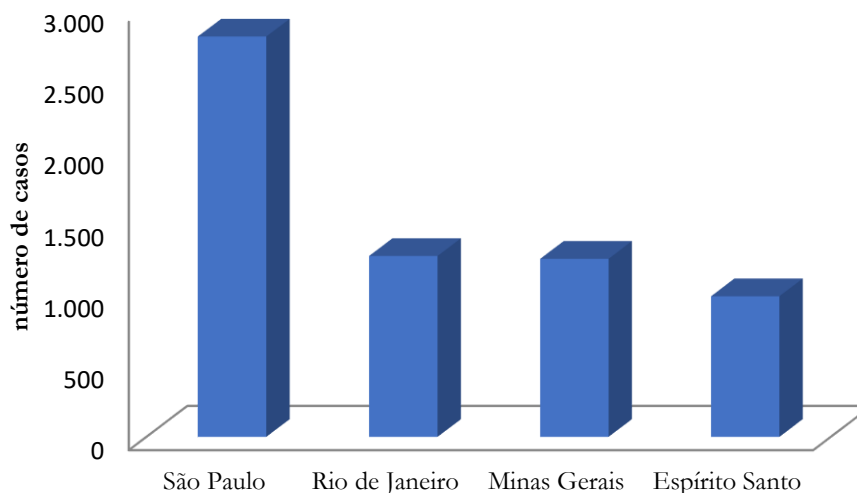
A centralidade da região Sudeste na carga extra-amazônica de malária observada neste estudo, respondendo por quase metade dos casos notificados no período analisado, reforça achados prévios que apontam essa região como um importante polo de notificação fora da Amazônia Legal (Lacerda et al., 2014; Gurgel et al., 2022). Em análises nacionais, Lacerda et al. (2014) destacaram que a maior parte dos casos extra-amazônicos concentra-se em estados do Sudeste e Sul, predominantemente associados a viagens a áreas endêmicas, enquanto Gurgel et al. (2022) evidenciaram, em série temporal, a persistência de transmissão esporádica e a relevância de focos importados e autóctones em áreas não endêmicas. Assim, o achado de que o Sudeste agrega 48,6% da carga extra-amazônica de malária no período de 2007 a 2024 corrobora a literatura e atualiza esse cenário com dados mais recentes, figura 2.

Figura 2 - Regiões extra-amazônicas no Brasil, 2007-2024.



A distribuição interna dos casos na região Sudeste, com predominância de São Paulo, seguida por Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, dialoga com estudos que identificam grandes centros urbanos e estados economicamente dinâmicos como “hubs” de casos importados de malária (Lacerda *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2020), figura 3.

Figura 3 - Casos na região Sudeste, 2007-2024.



De acordo com Lacerda *et al.* (2014), capitais e regiões metropolitanas do Sudeste recebem fluxo intenso de indivíduos provenientes da Amazônia Legal e de países endêmicos, o que favorece a detecção de casos importados em serviços de alta complexidade. Costa *et al.* (2020) também ressaltam que, no Sudeste, episódios autóctones tendem a ocorrer em contextos ecológicos específicos, como áreas rurais e fragmentos de Mata Atlântica, frequentemente associados a atividades de lazer ou trabalho em ambientes de mata. Esses elementos ajudam a explicar por que poucos estados concentram a maior parte das notificações observadas neste estudo.

A tendência de redução do número anual de casos de malária no Sudeste ao longo da série histórica está em consonância com análises nacionais que documentam declínio da incidência de malária no Brasil nas últimas décadas (Souza *et al.*, 2024; Ferreira; Castro, 2022). Souza *et al.* (2024) mostraram, em análise de séries temporais, diminuição significativa da incidência e da mortalidade por malária em escala nacional, embora com oscilações regionais e períodos de recrudescimento, enquanto Ferreira e Castro (2022) destacam o papel das ações de vigilância, diagnóstico e tratamento oportunos na sustentação dessa tendência. No entanto, estudos sobre a região extra-amazônica enfatizam que, mesmo com baixa incidência absoluta, o risco de desfechos graves permanece elevado, devido ao atraso diagnóstico e à menor experiência dos serviços de saúde com a doença (Lacerda *et al.*, 2014; Figueiredo *et al.*, 2022; Gurgel *et al.*, 2022). Nesse sentido, a persistência de um “fundo” de casos no Sudeste, observada neste trabalho, indica que a região

continua ecologicamente e socialmente receptiva à ocorrência de malária, o que exige vigilância constante.

Diversas investigações em áreas não endêmicas apontam que os casos de malária fora da Amazônia são majoritariamente importados e que a letalidade proporcional é maior do que na região amazônica, justamente pelo atraso no reconhecimento clínico e na confirmação laboratorial (Lacerda *et al.*, 2014; Figueiredo *et al.*, 2022; Lima *et al.*, 2017). Lacerda *et al.* (2014) descreveram que, em estados do Sudeste e Sul, muitos pacientes procuram atendimento tardiamente, e a suspeita de malária nem sempre é levantada na primeira consulta, especialmente na ausência de história de viagem bem documentada. Figueiredo *et al.* (2022) reforçam que esse padrão contribui para maior frequência de formas graves e óbitos em regiões extra-amazônicas, mesmo com poucos casos absolutos. Os resultados deste estudo, ao evidenciar o volume de casos que chegam à região Sudeste e se distribuem entre seus estados, reforçam a necessidade de capacitação contínua das equipes de atenção primária, urgência e hospitais, bem como de fluxos bem definidos para diagnóstico e tratamento.

Por fim, a análise aqui apresentada dialoga com a agenda nacional de eliminação da malária, que reconhece a importância de estratégias específicas para contextos de baixa transmissão (Ministério da Saúde, 2024; Souza *et al.*, 2024). Enquanto a maior parte das ações e dos estudos se concentra na Amazônia Legal, os achados deste trabalho indicam que a região Sudeste, embora não endêmica, mantém papel central na malária extra-amazônica e, portanto, deve ser considerada de forma explícita nos planos de vigilância e eliminação. Ao atualizar, com dados de 2007 a 2024, o perfil da malária na região Sudeste, o estudo contribui para preencher lacunas descritas por Lacerda *et al.* (2014) e Gurgel *et al.* (2022) quanto ao monitoramento sistemático da doença em áreas não endêmicas, e reforça a necessidade de integrar vigilância epidemiológica, mobilidade humana e características locais dos serviços de saúde na formulação de respostas mais eficazes à malária no Brasil.

4 CONCLUSÃO

Os achados deste estudo evidenciam que a região Sudeste desempenha papel central na carga de malária fora da Amazônia Legal, concentrando quase metade ($\approx 48,6\%$) dos casos notificados nas regiões extra-amazônicas brasileiras entre 2007 e 2024. Esse resultado atualiza e reforça observações de estudos anteriores, que já apontavam o Sudeste como importante polo de casos importados e de transmissão esporádica em contexto de baixa endemicidade, em função da intensa mobilidade populacional e da presença de grandes centros urbanos e serviços de referência.

A tendência geral de redução do número anual de casos, com patamares mais elevados entre 2007 e 2012 e valores inferiores nos anos subsequentes, indica que a região acompanha o movimento nacional de declínio da malária observado nas últimas décadas, ainda que mantenha um “fundo” persistente de casos ao longo de toda a série histórica. Tal persistência, somada à maior letalidade proporcional descrita em áreas não endêmicas, sinaliza que a malária permanece como risco relevante no Sudeste, especialmente entre indivíduos expostos por viagens, trabalho ou lazer em áreas endêmicas, e que a eliminação do agravo no país exige atenção contínua a esse território.

Do ponto de vista da vigilância em saúde, os resultados reforçam a necessidade de manter e fortalecer ações de capacitação de profissionais, sensibilização de serviços de urgência e atenção primária, e fluxos bem definidos para diagnóstico e tratamento oportunos da malária na região Sudeste, mesmo em cenário de baixa incidência. A utilização sistemática de dados secundários de notificação, como demonstrado neste estudo, configura ferramenta estratégica para monitorar a evolução da doença, identificar áreas e períodos de maior concentração de casos e subsidiar o planejamento de intervenções focalizadas, alinhadas às metas nacionais e internacionais de controle e eliminação da malária.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. **SIVEP-Malária – Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica da Malária**. Brasília: SVS/MS, 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância epidemiológica da malária**. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, 2024.

CASTRO, M. C. *et al.* Malaria and environmental, socioeconomic and public health inequalities in Brazil: a comprehensive review. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 56, e20230032, 2023.

COSTA, D. C. *et al.* Autochthonous malaria in Brazil outside the Amazon: clinical, epidemiological and ecological aspects. **Travel Medicine and Infectious Disease**, [S. l.], 2020.

FERREIRA, M. U.; CASTRO, M. C. Challenges for malaria elimination in Brazil. **The Lancet Regional Health – Americas**, v. 7, 100154, 2022.

FERREIRA, M. U.; CASTRO, M. C. Epidemiology, biodiversity, and technological trajectories in the control of malaria in Brazil. **Frontiers in Public Health**, v. 9, 647754, 2021.

FIGUEIREDO, M. *et al.* **Survey shows higher malaria mortality in Brazil outside Amazonia**. Agência FAPESP, 2022. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br>. Acesso em: 22 jan. 2026.

GURGEL, H. C. *et al.* Malaria time series in the extra-Amazon region of Brazil. **Malaria Journal**, v. 21, n. 1, 2022.

LACERDA, M. V. G. *et al.* Malaria in Brazil: what happens outside the Amazonian endemic region. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 109, n. 5, p. 639-651, 2014.

LIMA, G. F. M. *et al.* Malaria in Southern Brazil: a potential threat for a non-endemic region. **Brazilian Journal of Infectious Diseases**, v. 21, n. 5, p. 543-550, 2017.

SILVA, J. *et al.* Sociodemographic aspects, time series and high-risk clusters of malaria in Brazil: a 22-year study. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [S. l.], 2024.

SOUZA, A. G. *et al.* Brazil towards malaria elimination: a time-series analysis of malaria incidence and mortality. **PLOS Global Public Health**, v. 4, n. 10, e0003822, 2024.

SOUZA, A. G. *et al.* Mapping and characterizing areas with high levels of malaria in Brazil. **The Lancet Regional Health – Americas**, [S. l.], 2022.

WALSHE, D. P. *et al.* Larvivorous fish for preventing malaria transmission. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, 2017. Atualizada em 2025.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Malaria – Fact sheet**. Geneva: WHO, 2025. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria>. Acesso em: 22 jan. 2026.

WHO; PAHO. **Malaria – PAHO/WHO**. Washington, DC: Pan American Health Organization, 2025. Disponível em: <https://www.paho.org/en/topics/malaria>. Acesso em: 22 jan. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **World malaria report 2023**. Geneva: World Health Organization, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World malaria report – methodological annexes and country profiles**. Geneva: WHO, 2023.

Informações sobre a Editora

Wissen Editora

Homepage: www.editorawissen.com.br

Teresina – Piauí, Brasil

E-mail: wisseneditora@gmail.com

Siga nossas redes sociais:



@wisseneditora

