

CIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E SOCIEDADE

A UEMASUL E OS ODS EM AÇÃO

ORGANIZAÇÃO



EDITORA
UEMASUL



PROPGI
PRÓ-REITORIA DE
PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO
E INOVAÇÃO



DSUEMASUL
Objetivos de Desenvolvimento
Sustentável



DSUEMASUL
Objetivos de Desenvolvimento
Sustentável

CIÊNCIAS, SOCIEDADE E SUSTENTABILIDADE:

A UEMASUL e os ODS em ação

CIÊNCIAS, SOCIEDADE E SUSTENTABILIDADE:

A UEMASUL e os ODS em ação



EDITORA
UEMASUL

2025

Todos os direitos reservados à Editora UEMASUL. É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, desta publicação.

O conteúdo desta publicação é de inteira responsabilidade dos autores.

Projeto Gráfico: Editora UEMASUL

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação.

U58c UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO
MARANHÃO

Ciências, sociedade e sustentabilidade: a UEMASUL e os ODS em
ação. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. /. –
Imperatriz: EDUEMASUL, 2025.

197 p.; il.

ISBN 978-65-89274-35-3

1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS. 2. Maranhão –
Região Tocantina. 3. Questões socioambientais IV. Título.

CDU 332:502(812.1)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**



Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Reitora

Profa. Dra. Luciléa Ferreira Lopes Gonçalves

Vice-reitora

Profa. Dra. Lillian Castelo Branco de Lima

Organizadores/autores

Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPGI)
Editora Universitária UEMASUL - EdUEMASUL

Coordenação da Editora

Profa. Dra. Aichely Rodrigues da Silva

Diagramação

Jeciane da Silva Chaves

Conselho Editorial

Profa. Dra. Aichely Rodrigues da Silva (UEMASUL)
Profa. Dra. Camila Perez da Silva (UEMASUL)
Profa. Dra. Gabriela Guimarães Jeronimo (UEMASUL)
Prof. Dr. Gutierrez Rodrigues de Moraes (UEMASUL)
Profa. Dr. Luciana Oliveira dos Santos (UEMASUL)
Prof. Dr. Marcelo Francisco da Silva (UEMASUL)
Profa. Dra. Niara Moura Porto (UEMASUL)

Capa

Gabriel Vieira Lima

Revisão

Profa. Ma. Rute Maria Chaves Pires

Comitê Científico

Prof. Dr. Clovis Caface (UEMASUL)
Prof. Dr. Joabel Raabe (UEMASUL)
Prof. Dr. John Jairo Saldarriaga Ausique (UEMA)
Prof. Dr. Jonathan dos Santos Viana (UEMASUL)
Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos (UEMA)
Prof. Dr. Murilo Barros Alves (UEMASUL)
Prof. Dr. Ronaldo dos Santos Barbosa (UEMASUL)
Profa. Dra. Monalisa de Sousa Moura Souto (UEMASUL)

PREFÁCIO

O presente livro reúne uma coletânea composta de cinco capítulos oriundos de pesquisas interdisciplinares que abordam questões socioambientais em distintas regiões do estado do Maranhão, com enfoque nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Os estudos apresentados foram norteados por pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento e instituições, denotando o compromisso com a produção científica voltada à sustentabilidade, inovação e justiça socioambiental.

O capítulo inicial realiza um diagnóstico socioambiental da Bacia do Rio Farinha, destacando suas especificidades geográficas, sociais e ecológicas. A análise propõe realizar um diagnóstico socioambiental da Bacia do Rio Farinha – MA, identificando os principais impactos do uso e ocupação do solo e propondo diretrizes alinhadas aos ODS que promovam o desenvolvimento sustentável da região, desta forma subsidiar políticas públicas para a conservação e o uso racional dos recursos hídricos locais.

Na sequência, discute-se a aplicabilidade dos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis) na análise da evolução dos focos de incêndio no município de Mirador, Maranhão, no período de 2013 a 2023, com ênfase na identificação dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de queimadas, como as atividades agropecuárias e a expansão das áreas de pastagem. Os resultados evidenciam impactos

significativos sobre o meio ambiente e a população local, contribuindo para a formulação de estratégias de gestão territorial e prevenção de desastres.

O terceiro capítulo investiga o potencial energético de biomassas residuais na Região Tocantina, alinhando-se aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ODS 7 (Energia Limpa), ODS 12 (Produção Responsável) e ODS 13 (Combate às Mudanças Climáticas), sinalizando alternativas viáveis para a diversificação da matriz energética com foco na sustentabilidade. Em seguida, apresenta-se uma revisão sobre o uso de matérias-primas alternativas oriundas de coprodutos agroindustriais na alimentação de peixes, com ênfase na digestibilidade aparente e na eficiência nutricional, alinhando-se aos princípios da economia circular.

Finalizando, o capítulo "Mermãs Digitais" analisa a inserção de meninas nas áreas STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) na Região Tocantina. A pesquisa destaca os desafios e avanços relacionados à equidade de gênero e à formação científica de jovens mulheres no contexto regional, contribuindo para ampliar a participação feminina na educação tecnológica e pode servir como modelo para outras iniciativas inclusivas.

Esta obra representa uma valiosa contribuição para a comunidade científica, profissionais atuantes, gestores públicos e demais interessados nas questões socioambientais que permeiam o estado do Maranhão. Os estudos apresentados evidenciam a centralidade da pesquisa científica como instrumento fundamental para compreender

e enfrentar desigualdades, além de subsidiar a formulação de soluções contextualizadas e eficazes diante dos complexos desafios impostos pelo século XXI.

Profa. Dra. Ivaneide de Oliveira Nascimento
Coordenação Institucional da Sala Verde/UEMASUL
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- UEMASUL



SUMÁRIO

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA BACIA DO RIO FARINHA – MA E DIRETRIZES ALINHADAS AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

15

Cristiane Matos da Silva
Luciana Gomes de Brito
Matheus Matos Araújo da Silva
Wilson Araújo da Silva
Jurandir Pereira Filho

APLICABILIDADE DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 11 E 12 NA ANÁLISE DE FOCOS DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MIRADOR - MA: TENDÊNCIAS E IMPACTOS ENTRE 2013 E 2023

37

Jonathan dos Santos Viana
Ana Lívia Silva Santos
Gabriel de Sousa Coelho
Larissa Rodrigues Almeida
Daniel Carlos Machado

POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM ALINHADA AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

63

Michael Douglas Roque Lima
Joabel Raabe
Argel Costa Souza
Jonathan Dias Marques
Felipe Alexandre Rizzo

**USO DE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS
DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E
DIGESTIBILIDADE APARENTE EM PEIXES: REVISÃO** **105**

Jéssica Antonia Cardoso Mendes
Thallynson Emanuel Francelino da Silva
Pedro Lucas Oliveira Rocha
Diego Amorim dos Santos
Diego Carvalho Viana

**USO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
PARA PRODUÇÃO EM SEMI-CATIVEIRO DE
HERMETIA ILLUCENS “MOSCA-SOLDADO
NEGRA” E SEU USO NA PISCICULTURA** **133**

Germán Augusto Murrieta Morey
Joel Vásquez Bardales
Luciano Alfredo Rodriguez Chu
Harvey Satalaya Arellano
Diego Carvalho Viana

**ERMÃS DIGITAIS: UMA ANÁLISE CIENTÍFICA
SOBRE A INSERÇÃO DE MENINAS NAS STEAM
NA REGIÃO TOCANTINA** **157**

Yasmin Milhomem de Oliveira
Gabriel Vieira Lima
Aricelma Costa Ibiapina
Simone Azevedo Bandeira de Melo Aquino

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA BACIA DO RIO FARINHA – MA E DIRETRIZES ALINHADAS AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Socio-environmental diagnosis of the Farinha river basin - MA and guidelines aligned with the Sustainable Development Goals (SDGS)

Cristiane Matos da Silva¹
Luciana Gomes de Brito¹
Matheus Matos Araújo da Silva²
Wilson Araújo da Silva¹
Jurandir Pereira Filho³

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



1. Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) - Imperatriz, MA - Brasil

2. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) - Imperatriz, MA - Brasil

3. Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) -Itajaí, SC - Brasil

Resumo: O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, desempenha papel essencial na regulação do ciclo hidrológico e na conservação da biodiversidade. No Maranhão, esse bioma cobre mais de 64% do território estadual, sendo particularmente vulnerável à expansão de atividades agrossilvipastoris, especialmente na região do MATOPIBA. A Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, localizada no sudoeste do estado do Maranhão, insere-se nesse contexto de intensas transformações ambientais, pressionada pelo uso inadequado do solo, desmatamento, queimadas e práticas agrícolas pouco sustentáveis. Diante disso, objetivou-se realizar um diagnóstico socioambiental da Bacia do Rio Farinha – MA, identificando os principais impactos do uso e ocupação do solo e propondo diretrizes alinhadas aos ODS que promovam o desenvolvimento sustentável da região. A metodologia adotada fundamenta-se na revisão e síntese integrada de quatro artigos científicos que abordam diferentes aspectos ambientais da Bacia do Rio Farinha – MA. Os resultados evidenciam perdas de solo, água e nutrientes, associadas à expansão agrícola desordenada, à ausência de práticas conservacionistas e ao déficit de planejamento territorial. Com base nesses diagnósticos, foram propostas medidas mitigadoras e estratégias de gestão alinhadas aos ODS, especialmente os ODS 2, 6, 12, 13, 14 e 15. Tais medidas visam a sustentabilidade na produção agrícola, conservar os recursos naturais e fortalecer a resiliência socioecológica da bacia. Permitindo concluir que a análise integrada dos estudos realizados foi fundamental para propor políticas públicas mais eficazes visando o uso sustentável dos recursos naturais, contribuindo para



a proteção do Cerrado maranhense.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Erosão do Solo; Qualidade da Água; Uso da Terra; Desenvolvimento Sustentável.

Abstract: The Cerrado, Brazil's second largest biome, plays an essential role in regulating the hydrological cycle and conserving biodiversity. In Maranhão, this biome covers more than 64% of the state's territory and is particularly vulnerable to the expansion of agro-silvo-pastoral activities, especially in the MATOPIBA region. The Farinha River Basin, located in the south-west of the state of Maranhão, is part of this context of intense environmental change, pressured by inappropriate land use, deforestation, burning and unsustainable agricultural practices. In view of this, the objective was to carry out a socio-environmental diagnosis of the Farinha River Basin – MA, identifying the main impacts of land use and occupation and proposing guidelines aligned with the SDGs that promote sustainable development in the region. The methodology adopted is based on the review and integrated synthesis of four scientific articles that address different environmental aspects of the Farinha River Basin – MA. The results show losses of soil, water, and nutrients associated with disorderly agricultural expansion, the absence of conservation practices, and a lack of territorial planning. Based on these diagnoses, mitigating measures and management strategies aligned with the SDGs were proposed, especially SDGs 2, 6, 12, 13, 14, and 15. These measures aim at sustainability in agricultural production, conserving natural resources and



strengthening the socio-ecological resilience of the basin. This leads to the conclusion that the integrated analysis of the studies carried out was fundamental in proposing more effective public policies aimed at the sustainable use of natural resources, contributing to the protection of the Maranhão Cerrado.

Keywords: Watershed; Soil Erosion; Water Quality; Land Use; Sustainable Development.

1. Introdução

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, cobre cerca de 24% do território nacional (Bandeira; Campos, 2018) e exerce papel fundamental na regulação do ciclo hidrológico e na manutenção da biodiversidade. No estado do Maranhão, esse bioma ocupa aproximadamente 64,1% do território (IBGE, 2004; Gonçalves *et al.*, 2020), abrangendo áreas de significativa importância ecológica e social. No entanto, o Cerrado vem sendo intensamente pressionado pela expansão das atividades agrossilvipastoris, especialmente na região denominada MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), considerada uma das principais fronteiras agrícolas do país. Segundo o IBGE (2021), os estados da Bahia, Piauí e Maranhão responderam por mais de 90% do aumento das áreas agrícolas no Nordeste entre 2000 e 2018, evidenciando um processo acelerado de mudanças no uso e cobertura da terra.

Na região sudoeste do Maranhão, essas transformações impactam diretamente a Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, uma importante sub-

bacia do rio Tocantins que abriga o Parque Nacional da Chapada das Mesas, criado como medida de proteção ambiental diante de projetos de usinas hidrelétricas em estudo (Marques, 2012; Nobre *et al.*, 2020; Silva, 2024). O uso inadequado do solo, sem técnicas conservacionistas, intensifica processos erosivos, perdas de nutrientes e degradação dos recursos hídricos, além de representar ameaças à biodiversidade aquática e terrestre. Tais impactos são agravados pela ocorrência de queimadas, pela ausência de planejamento territorial e pela utilização indiscriminada de insumos agrícolas, os quais podem levar à contaminação e eutrofização dos corpos d'água.

Diante desse cenário, torna-se imprescindível a realização de diagnósticos socioambientais que integrem variáveis ecológicas, hidrológicas e sociais, considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental, conforme previsto na Lei nº 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos). A análise da Bacia do Rio Farinha, sob a perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015), possibilita a construção de estratégias de uso sustentável dos recursos naturais e de promoção da justiça socioambiental. O ODS 2, por exemplo, destaca a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis que garantam segurança alimentar e preservação ambiental; o ODS 6 foca na gestão eficiente da água e no saneamento básico; o ODS 12 incentiva padrões responsáveis de consumo e produção; o ODS 13 exige ações concretas de enfrentamento às mudanças climáticas; enquanto os ODS 14 e 15 ressaltam a proteção da vida aquática e terrestre,

respectivamente.

Diante do exposto, este estudo objetivou realizar um diagnóstico socioambiental da Bacia do Rio Farinha – MA, identificando os principais impactos do uso e ocupação do solo e, propondo diretrizes alinhadas aos ODS que promovam o desenvolvimento sustentável da região. Com isso, busca-se não apenas compreender a dinâmica atual da bacia, mas também indicar caminhos para o manejo adequado dos recursos naturais, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas e das comunidades locais, frente aos desafios ambientais contemporâneos.

2. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na revisão e análise integrada de quatro artigos científicos que abordam diferentes aspectos ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Farinha – MA (Quadro 1). Esses trabalhos, publicados entre 2024 e 2025, tratam de temas como uso e cobertura da terra, caracterização de chuvas intensas, perdas de água, solo e nutrientes, e análise físico-química da água da bacia.

ORDEM	ARTIGOS	ANO DE PUBLICAÇÃO
1	da Silva, C. M., & Filho, J. P. (2025). Variaciones en el uso y cobertura del suelo en una región del Cerrado brasileño: un estudio de caso de la cuenca del río Farinha, MA y el Parque Nacional Chapada das Mesas. <i>Agua Y Territorio Water and Landscape</i> , 25, 409.420. https://doi.org/10.17561/at.25.8285	2025
2	da Silva, C. M., & Pereira Filho, J. (2024). Equation of heavy rainfall using the rainfall disaggregation method for the Farinha river basin – MA. <i>Contribuciones a Las Ciencias Sociales</i> , 17(2), e4483. https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-090	2024
3	Silva, C. M. da, Brito, L. G. de, Silva, M. M. A. da, Carvalho, A. E. F. B. de, Almeida Júnior, J. P. de, Silva, M. F. da, Silva, W. A. da, & Pereira Filho, J. (2024). Quantification of water, soil and nutrient losses in the Farinha river basin, Carolina - MA, in the Cerrado biome. <i>Caderno Pedagógico</i> , 21(5), e4078. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-009	2024
4	Silva, C. M. da, Brito, L. G. de, Silva, M. M. A. da, Carvalho, A. E. F. B. de, Almeida Júnior, J. P. de, Silva, M. F. da, Silva, W. A. da, & Pereira Filho, J. (2024). Analysis of the physico-chemical relationship between losses of water, soil and soil nutrients in the water of the Farinha River – MA. <i>Caderno Pedagógico</i> , 21(9), e8028. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-206	2024

Quadro 1. Relação dos Artigos que servirão de base para este estudo

Fonte: Autores, 2025.



O objetivo central desta abordagem metodológica foi sintetizar os principais achados desses estudos a fim de subsidiar a proposição de medidas mitigadoras e, respectivas ações ambientais. Além disso, buscou-se promover o alinhamento dessas propostas com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere à implementação de práticas agrícolas sustentáveis, ao manejo eficiente do solo e à conservação dos ecossistemas no contexto do Cerrado Maranhense.

A partir da análise dos dados e discussões contidas nos artigos, a presente pesquisa foi conduzida em quatro etapas principais: Síntese Técnica dos Resultados visando sistematização dos achados mais relevantes dos estudos analisados, com ênfase nos impactos ambientais identificados na bacia; Proposição de Medidas Mitigadoras por meio da elaboração de estratégias de intervenção, orientadas para o controle da degradação ambiental e a promoção da sustentabilidade; Alinhamento com os ODS visando a correspondência entre as medidas propostas e as metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, considerando sua aplicabilidade à realidade socioambiental da bacia; Recomendações Práticas e Políticas por meio de sugestões para a incorporação das ações propostas em programas de gestão ambiental e políticas públicas locais e regionais.

Essa abordagem metodológica permite a consolidação de conhecimentos científicos produzidos em estudos recentes, direcionando-os para a formulação de ações concretas e efetivas no território da Bacia hidrográfica do Rio Farinha - MA,

em consonância com a Agenda 2030 da ONU.

3. Resultados e Discussão

A análise integrada dos quatro artigos científicos revelou um panorama detalhado dos desafios ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Farinha, MA. Em suma, os resultados apontam para uma intensificação do uso e cobertura da terra, especialmente com a expansão de pastagens, que acentua a erosão e a perda de água, solo e nutrientes. Fatores como chuvas intensas contribuem significativamente para esses processos erosivos, enquanto o manejo inadequado do solo e o uso excessivo de agroquímicos comprometem a qualidade físico-química da água do rio Farinha, evidenciando alterações no pH, condutividade elétrica e oxigenação.

3.1 Síntese dos principais resultados científicos

O primeiro artigo intitulado “*Variations in land use and land cover in a region of the Brazilian Cerrado: A case study of the Farinha river basin, MA, and Chapada das Mesas National Park*” investigou o aumento significativo do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Farinha - MA e no Parque Nacional da Chapada das Mesas, no Brasil, ao longo das últimas duas décadas, com um foco especial nas áreas de pastagem. Esse aumento levantou preocupações sobre a intensificação da erosão e a perda de água, solo e nutrientes. Com essa investigação, foi possível constatar que a expansão do agronegócio

e o manejo inadequado do solo causa impactos negativos nas bacias hidrográficas do Cerrado brasileiro. Isso porque, a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens e terras agrícolas tem reduzido a cobertura do solo, aumentando sua suscetibilidade à erosão e comprometendo a retenção de água e nutrientes, resultando em maior escoamento superficial e perda acelerada de solo.

Práticas agrícolas inadequadas, como o cultivo em terrenos inclinados, sem as devidas técnicas de conservação, e o uso excessivo de fertilizantes e agroquímicos, também têm contribuído com a erosão, a perda de nutrientes e a contaminação dos corpos hídricos, prejudicando a qualidade da água. Outro fator crítico é o uso inadequado de máquinas agrícolas, que compactam o solo, reduzem sua capacidade de infiltração e aumentam o escoamento superficial, amplificando a frequência e a intensidade dos processos erosivos reduzindo a fertilidade do solo, comprometendo ainda mais a qualidade dos recursos hídricos.

O segundo artigo intitulado "*Equation of heavy rainfall using the rainfall disaggregation method for the Farinha river basin – MA*" baseou-se na determinação da equação de chuva intensa para a bacia hidrográfica do Rio Farinha - MA utilizando o método de desagregação de chuvas. Esta equação é crucial para estudos hidrológicos regionais, incluindo a estimativa da erosividade das chuvas, a quantificação dos processos erosivos e o planejamento de sistemas de drenagem e, proteção contra enchentes. Esta análise demonstrou que chuvas de alta intensidade e curta duração, a exemplo do que foi simulado neste estudo, tendem

a ser mais erosivas, resultando em maior escoamento superficial e perda de solo. Com essa importante observação, analisou-se como o impacto das fortes chuvas e o manejo do solo podem influenciar nas perdas de solo, água e nutrientes. Sendo possível com esta pesquisa destacar a importância da implementação de melhores práticas de manejo para evitar a degradação ambiental decorrente do impacto que o excesso de chuva pode causar.

O terceiro artigo intitulado *"Quantification of water, soil and nutrient losses in the Farinha river basin, Carolina - MA, in the Cerrado biome"* realizado na bacia hidrográfica do Rio Farinha - MA destacou que, a perda de água, solo e nutrientes foi evidenciada pelo aumento das áreas de pastagens, pela intensificação das atividades agrícolas, e pelo potencial erosivo que chuvas intensas causam, levando à maior erosão do solo e redução da capacidade de retenção de água e nutrientes. O processo decorrente da diminuição da cobertura vegetal e da alteração das práticas de manejo tendem a intensificar as perdas de nutrientes essenciais, contribuindo com a eutrofização dos corpos hídricos, prejudicando a qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos.

Finalmente, o quarto artigo intitulado *"Analysis of the physico-chemical relationship between losses of water, soil and soil nutrients in the water of the Farinha River - MA"* realizou a avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Farinha. Sendo possível verificar que variações sazonais, poluição ambiental e obras hidráulicas ocasionam impactos negativos sobre a vida aquática, destacando a necessidade de monitoramento contínuo e esforços

de conservação para salvaguardar os recursos hídricos.

Diante disso, foi possível verificar que as perdas de água, solo e nutrientes afetam significativamente a qualidade físico-química da água do Rio Farinha-MA alterando fatores como pH, condutividade elétrica e, oxigenação da água, impactando a saúde dos ecossistemas aquáticos. Outro fator relevante neste contexto é o processo de eutrofização, que pode ser acelerado pelo escoamento de nutrientes como nitrogênio e fósforo, resultando em crescimento excessivo de algas e diminuição da qualidade da água.

3.2 Proposição de medidas mitigadoras e ações ambientais

Diante das considerações e observações avaliadas nos quatro artigos científicos, são propostas as medidas mitigadoras e respectivas ações ambientais apresentadas no Quadro 2.

Medidas mitigadoras	Ações ambientais
Implementação de programas de restauração ecológica e práticas agrícolas sustentáveis.	Replantio de espécies nativas; Recuperação de habitats; Criação de corredores ecológicos; Implementação das práticas de: Agricultura de conservação; Agrossilvicultura e; Sistemas Agroecológicos.

Fortalecimento da Unidade de Conservação das áreas protegidas (APPs) e Reserva Legal (RL) e fiscalização ambiental e monitoramento hidrológico e climático.	Implementação de uma gestão eficaz e de monitoramento; Garantia de recursos para implementação de planos que priorizem conservação da biodiversidade e sustentabilidade dos recursos naturais; Combate ao desmatamento ilegal e a expansão descontrolada do agronegócio em áreas protegidas; Criação de alertas para eventos extremos e; Integração de informações ao planejamento urbano e gestão de riscos.
Programas de educação ambiental.	Aumento da conscientização ambiental pela população local, agricultores e empresas.
Investimentos em infraestrutura verde e melhoria da fertilidade do solo.	Criação de parques urbanos nas cidades de abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Farinha - MA; Melhoria dos sistemas de drenagem; Aumento da resiliência das comunidades locais, frente aos desafios hidrológicos; Correção da acidez do solo, incorporação de matéria orgânica e; Correção nutricional do solo.
Controle da erosão hídrica e adoção de práticas agrícolas responsáveis.	Adoção de práticas de conservação do solo como: plantio direto, terraceamento e cultivo em faixas; Preservação da cobertura do solo com sistemas agroflorestais; Utilização de consórcio de culturas e, de cobertura morta para reduzir erosão; Adoção de práticas agrícolas que visem minimizar perda de nutrientes e impactos ambientais, incluindo: rotação de culturas, uso de adubo verde, manejo integrado de pragas e redução do uso de pesticidas.

Monitoramento contínuo da qualidade do solo e da água, gestão de resíduos e monitorização da qualidade da água.	Melhoria e/ou implantação de estações hidrometeorológicas para análises periódicas e registros dos dados; Criação de programas de monitorização da qualidade da água para acompanhar variações sazonais e identificar problemas ambientais; Desenvolvimento e aplicação de estratégias eficazes de gestão de resíduos.
---	--

Quadro 2- Proposição de medidas mitigadoras e ações ambientais para a bacia Hidrográfica do Rio Farinha – MA

Fonte: Autores, 2025.

3.3 Alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

As medidas mitigadoras propostas têm como objetivo alcançar diversas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) abrangendo a implementação de práticas agrícolas sustentáveis, o manejo eficiente da terra e, a conservação dos ecossistemas. Ao adotar essas medidas é possível avançar e atender às metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável apresentados no Quadro 3.

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	Ações podem ser alcançadas com a implementação das medidas mitigadoras
ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável)	A promoção de práticas agrícolas sustentáveis e o manejo eficiente da terra não apenas garantem a segurança alimentar e nutricional, mas também, contribuem para a sustentabilidade ao proteger os recursos naturais.

ODS 6 (Água Limpa e Saneamento)	Ao incentivar práticas agrícolas sustentáveis e preservar os ecossistemas, podemos proteger as fontes de água, reduzindo a contaminação por agroquímicos e sedimentação, e assegurando o acesso à água limpa e ao saneamento básico.
ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis)	A implementação de práticas agrícolas sustentáveis e a promoção do consumo consciente visam reduzir o desperdício, melhorar a eficiência dos recursos e fomentar padrões de produção e consumo mais responsáveis.
ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima)	O fortalecimento das práticas agrícolas sustentáveis e o monitoramento ambiental contribuem para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, preservar os estoques de carbono e adaptar-se às mudanças climáticas.
ODS 14 (Vida na Água)	Investimentos em unidades de conservação e a restauração de ecossistemas são essenciais para promover a biodiversidade aquática e garantir a sustentabilidade dos recursos pesqueiros.
ODS 15 (Vida Terrestre)	A conservação e restauração de ecossistemas terrestres, aliadas a práticas agrícolas sustentáveis, desempenham um papel fundamental na proteção da biodiversidade e dos habitats naturais.

Quadro 3 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e Ações que podem ser alcançadas com a implementação das medidas mitigadoras na bacia Hidrográfica do Rio Farinha – MA
Fonte: Autores, 2025.

3.4 Recomendações práticas e políticas

Após a análise dos artigos, proposição das medidas mitigadoras e ações ambientais e, alinhamento com os ODS, foi possível elencar as

seguintes recomendações práticas e política para a bacia hidrográfica do rio Farinha - MA (Quadro 4).

Eixo Estratégico	Recomendações Práticas e Políticas
1. Governança e Planejamento Territorial	Criação de um Comitê de Bacia Hidrográfica; Elaboração de Plano de Manejo Integrado com base no ZEE; Integração intersetorial entre políticas públicas.
2. Práticas Agrícolas Sustentáveis	Crédito rural para agricultura conservacionista e agroecológica; Assistência técnica e capacitação contínua; Redução do uso de insumos químicos.
3. Conservação e Recuperação Ambiental	Restauração de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal com espécies nativas; Implantação de corredores ecológicos; Monitoramento remoto e fiscalização ambiental intensificada.
4. Monitoramento e Gestão de Riscos	Instalação de rede hidrometeorológica e estações de qualidade da água; Criação de sistemas de alerta para eventos extremos; Banco de dados georreferenciado.
5. Educação Ambiental e Participação Social	Inclusão da educação ambiental nas escolas da região; Campanhas de conscientização comunitária; Realização de fóruns e oficinas participativas com os moradores.

Quadro 4 – Recomendações práticas e políticas para a bacia hidrográfica do rio Farinha - MA.

Fonte: Autores, 2025.

Essas recomendações visam orientar ações imediatas e de longo prazo, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha – MA. A implementação integrada dessas medidas pode contribuir significativamente para a redução das perdas de solo, água e nutrientes, a melhoria da qualidade ambiental e o cumprimento de metas prioritárias da Agenda 2030 da ONU (2015).

4. Considerações Finais

A revisão e análise integrada dos estudos realizados na Bacia Hidrográfica do rio Farinha – MA permitiu compreender, de forma abrangente, os impactos socioambientais decorrentes das mudanças no uso e cobertura da terra, do manejo inadequado do solo e das pressões impostas pelo avanço desordenado do agronegócio sobre áreas sensíveis do Cerrado maranhense. As perdas significativas de água, solo e nutrientes, evidenciadas por meio de dados empíricos, apontam para um cenário de degradação ambiental que compromete a sustentabilidade dos recursos naturais e a qualidade de vida das populações locais.

Diante desse diagnóstico, foram propostas medidas mitigadoras associadas a ações ambientais concretas, com ênfase na restauração ecológica, no fortalecimento da governança ambiental, na promoção de práticas agrícolas sustentáveis, no controle da erosão hídrica e no monitoramento contínuo dos recursos hídricos e edáficos. Tais medidas demonstram forte aderência às metas de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



(ODS), especialmente os relacionados à segurança hídrica e alimentar, à preservação da biodiversidade, à ação climática e ao uso sustentável da terra.

As recomendações práticas e políticas aqui apresentadas reforçam a urgência da adoção de estratégias integradas de gestão territorial e ambiental na Bacia do Rio Farinha – MA, valorizando o conhecimento técnico-científico e a participação social, como pilares fundamentais para a construção de um modelo de desenvolvimento mais justo, resiliente e ambientalmente equilibrado. Nesse sentido, este capítulo contribui para ampliar o debate sobre a importância da gestão sustentável das bacias hidrográficas do Cerrado e reforça a necessidade de articulação entre ciência, política pública e sociedade civil para garantir a conservação dos recursos naturais e a promoção do bem-estar das gerações presentes e futuras.

Referências

BANDEIRA, M. N.; CAMPOS, F. I. Bioma Cerrado: relevância no cenário hídrico brasileiro. **CIPEEX**, v. 2, p. 399-409, 2018. Disponível em: <https://anais.unievangelica.edu.br/index.php/CIPEEX/article/view/3093/1215>. Acesso em: abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: abr. 2025.

DA SILVA, C. M.; FILHO, J. P. P. Variaciones en el uso y cobertura del suelo en una región del Cerrado brasileño: un estudio de caso de la cuenca del río Farinha, MA y el Parque Nacional Chapada das Mesas. **Agua y Territorio: Water and Landscape**, v. 25, p. 409-420, 2025. DOI: <https://doi.org/10.17561/at.25.8285>.

DA SILVA, C. M.; PEREIRA FILHO, J. Equation of heavy rainfall using the rainfall disaggregation method for the Farinha river basin – MA. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 2, e4483, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.2-090>.

GONÇALVES, R. G. M. *et al.* Edaphic indicators in management systems in the Cerrado maranhense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 29550-29569, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-419>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html>. Acesso em: abr. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da cobertura e uso da terra: estatísticas desagregadas por Unidades da Federação: 2000/2018**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes->

ambientais/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html. Acesso em: abr. 2025.

MARQUES, A. R. **Saberes geográficos integrados aos estudos territoriais sob a ótica da implantação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, sertão de Carolina/MA.** 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/900a2ab6-8f2f-4c99-a6d5-8e59a34d8c4a/content>. Acesso em: abr. 2025.

NOBRE, N. C. *et al.* Caracterização morfológica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 9, n. 1, p. 11-34, 2020. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i1.19021>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** Nova Iorque: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: abr. 2025.

SILVA, C. M. da. **Perdas de água, solo e nutrientes em bacias hidrográficas do Cerrado maranhense: estudo de caso da Bacia do Rio Farinha, MA.** 2024. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2024. Disponível em: <https://biblioteca.univali.br/pergamumweb/>

SILVA, C. M. da *et al.* Quantification of water, soil and nutrient losses in the Farinha river basin, Carolina



- MA, in the Cerrado biome. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 5, e4078, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-009>.

SILVA, C. M. da et al. Analysis of the physico-chemical relationship between losses of water, soil and soil nutrients in the water of the Farinha River – MA. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 9, e8028, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-206>.

APLICABILIDADE DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 11 E 12 NA ANÁLISE DE FOCOS DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MIRADOR - MA: TENDÊNCIAS E IMPACTOS ENTRE 2013 E 2023

APPLICABILITY OF SDG 11 AND 12 IN THE ANALYSIS OF FIRE OUTBREAKS IN THE MUNICIPALITY OF MIRADOR, MA: TRENDS AND IMPACTS BETWEEN 2013 AND 2023

Jonathan dos Santos Viana¹
Ana Livia Silva Santos²
Gabriel de Sousa Coelho³
Larissa Rodrigues Almeida⁴
Daniel Carlos Machado⁵

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



1,2,3,4 Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) - Imperatriz, MA - Brasil
5 Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV) – Jaboticabal – SP - Brasil

Resumo: A prática das queimadas como método de limpeza de áreas agrícolas em Mirador - Maranhão, tem se mostrado cada vez mais prejudicial ao meio ambiente e à saúde do ecossistema local. O objetivo deste estudo foi de analisar a evolução dos focos de incêndio no município de Mirador - Maranhão, entre os anos de 2013 e 2023, com ênfase na identificação dos principais fatores que contribuem para a ocorrência de queimadas, como as atividades agropecuárias e a expansão das áreas de pastagem. O presente estudo foi desenvolvido com o uso de geotecnologias, utilizando imagens da malha municipal do IBGE e da plataforma MapBiomas, processadas por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o software QGIS. Como resultado, o comparativo entre os anos de 2013 e 2023 revelou um aumento significativo nos focos de incêndio, o que corrobora a crescente pressão das atividades agrícolas e a expansão das áreas de pastagem, que são responsáveis pela degradação da vegetação nativa e pelo comprometimento da biodiversidade. A análise demonstrou que, embora as queimadas proporcionem benefícios imediatos para o solo, como a adição de nutrientes das cinzas, os impactos a longo prazo são devastadores, especialmente em áreas de conservação como o Parque Estadual do Mirador. Além disso, a falta de fiscalização adequada e a escassez de recursos para combater os incêndios agravam a situação, colocando em risco tanto os ecossistemas, quanto as populações locais que dependem desses recursos naturais.

Palavras-chave: Antropização; Gestão ambiental;



Planejamento territorial.

Abstract: The practice of burning as a method of cleaning agricultural areas in Mirador - Maranhão, has proven to be increasingly harmful to the environment and the health of the local ecosystem. The objective of this study was to analyze the evolution of fire outbreaks in the municipality of Mirador - Maranhão, between the years 2013 and 2023, with emphasis on the identification of the main factors that contribute to the occurrence of fires, such as agricultural activities and the expansion of pasture areas. The present study was developed using geotechnologies, using images from the IBGE municipal network and the MapBiomas platform, processed through the Geographic Information System (GIS), with the QGIS software. As a result, the comparison between the years 2013 and 2023 revealed a significant increase in fire outbreaks, which corroborates the growing pressure of agricultural activities and the expansion of pasture areas, which are responsible for the degradation of native vegetation and the compromise of biodiversity. The analysis showed that while fires provide immediate benefits to the soil, such as adding nutrients from ash, the long-term impacts are devastating, especially in conservation areas such as Mirador State Park. In addition, the lack of adequate enforcement and the scarcity of resources to fight fires aggravate the situation, putting both ecosystems and local populations that depend on these natural resources at risk.

Keywords: Anthropization; Environmental management; Territorial planning.



I - Introdução e Contexto

A prática de limpeza de áreas agrícolas por meio de queimadas tem sido empregada ao longo de milênios, sendo uma técnica tradicionalmente adotada, sobretudo por pequenos agricultores, com o intuito de eliminar a vegetação nativa, para a implantação de cultivos agrícolas e pastagens. No contexto do município de Mirador, localizado no estado do Maranhão, destaca-se a presença do Parque Estadual do Mirador, a maior unidade de conservação estadual, que abrange uma vasta área de significativa importância ambiental. Contudo, muitos pequenos agricultores da região continuam a utilizar as queimadas como método para o preparo das terras, uma prática que envolve a remoção da vegetação nativa e a posterior introdução de novas culturas e pastagens (Azevedo, 2002).

Inicialmente, a utilização das queimadas pode ser considerada benéfica para as plantações, uma vez que as cinzas resultantes do processo podem agregar nutrientes ao solo, o que teoricamente, favoreceria o desenvolvimento agrícola (Schmidt *et al.*, 2016). No entanto, essa visão simplista desconsidera os impactos negativos a longo prazo, especialmente quando as queimadas ocorrem de forma descontrolada. Conforme destacado pelo IBAMA (2023), é essencial distinguir entre incêndios florestais e queimas controladas. O incêndio florestal caracteriza-se pelo fogo fora de controle que avança sobre qualquer tipo de vegetação, podendo ter origem humana (intencional ou acidental) ou natural (como raios). Por outro lado, a queima refere-se ao uso planejado do fogo, seja

para o manejo de áreas agrícolas e pecuárias, seja com objetivos de conservação ambiental, como a redução de material combustível (para prevenção de incêndios), o manejo da paisagem e a preservação de ecossistemas dependentes do fogo (IBAMA, 2023).

A ausência de fiscalização ambiental efetiva, aliada à insuficiência de recursos para o combate aos incêndios, agrava consideravelmente a situação no município de Mirador. Esse cenário é particularmente preocupante considerando que a região está inserida no bioma Cerrado, o qual, conforme apontado por Almeida *et al.* (2006) é particularmente vulnerável a incêndios devido a fatores climáticos, como altas temperaturas e baixa umidade, além das ações humanas, que incluem o desmatamento, as práticas inadequadas de manejo agropecuário e, o uso indiscriminado de queimadas.

No Maranhão, a intensificação das queimadas nos últimos anos está diretamente correlacionada à expansão da fronteira agrícola, bem como à falta de políticas públicas adequadas para o controle e manejo das práticas agropecuárias (Moritz *et al.*, 2014; Sales *et al.*, 2019). O aumento na frequência de focos de calor revela a necessidade urgente de revisão das práticas de manejo e de implementação de estratégias de controle mais eficazes. O agravamento da situação, resultante da falta de controle e monitoramento, é exacerbado pela carência de recursos destinados ao combate de incêndios. Em consonância com Toledo *et al.* (2024), a conscientização das comunidades locais, bem como o fortalecimento de políticas públicas, é essencial para mitigar os impactos ambientais das

queimadas e preservar os serviços ecossistêmicos vitais, fornecidos pelas áreas protegidas.

O ODS 11, que trata de cidades e comunidades sustentáveis, busca tornar os espaços urbanos mais inclusivos, seguros e ambientalmente responsáveis (Ipea, 2019). Nesse sentido, as queimadas em Mirador afetam diretamente a qualidade de vida da população local, uma vez que a emissão de poluentes e partículas finas compromete a qualidade do ar, aumentando os riscos de doenças respiratórias, especialmente em crianças e idosos. Além disso, o avanço do fogo para áreas urbanas ou rurais próximas coloca em risco moradias, infraestruturas e o bem-estar da população, dificultando o planejamento urbano sustentável e a resiliência das comunidades frente a desastres ambientais.

Por outro lado, o ODS 12, que trata do consumo e produção responsáveis, é também diretamente impactado pelas queimadas (Ipea, 2019). O uso indiscriminado do fogo, como técnica de manejo do solo, reflete práticas produtivas insustentáveis, que comprometem a biodiversidade, a fertilidade do solo e, o equilíbrio ecológico da região. Essa realidade evidencia falhas na gestão eficiente dos recursos naturais e a ausência de políticas que incentivem práticas agrícolas sustentáveis. Além disso, a carência de ações de educação ambiental e de informação adequada às populações rurais contribui para a manutenção desses padrões de produção e consumo prejudiciais, contrariando metas como a 12.8, que defende estilos de vida em harmonia com a natureza.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre

os focos de incêndio registrados nos anos de 2013 e 2023 com ênfase nos ODS 11 e 12, com o intuito de verificar se houve um aumento significativo na ocorrência desses eventos ao longo da última década.

2. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo, que envolveu análises bibliográfica e cartográfica com fontes acadêmicas confiáveis e bancos de dados especializados, está diretamente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 e 12. O ODS 11, que visa promover cidades e comunidades sustentáveis, é refletido na abordagem de compreensão e mitigação dos impactos das queimadas em Mirador, Maranhão, ao identificar e analisar os efeitos ecológicos e socioeconômicos dessas ocorrências. O principal objetivo foi reunir e analisar artigos que abordassem o histórico das queimadas no município de Mirador, no Maranhão, bem como estudos que tratassem dos efeitos ecológicos e socioeconômicos provocados por esses incêndios ao longo da última década.

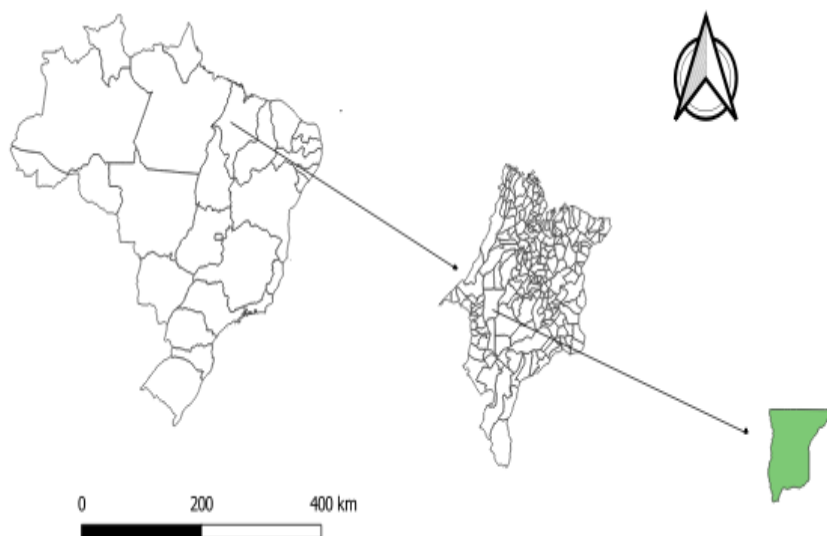


Figura 1. Município de Mirador no Maranhão, Brasil.
Fonte: Autores (2025).

O município de Mirador está situado na Mesorregião Leste Maranhense, inserido na Microrregião da Chapada do Alto Itapecuru. Sua sede encontra-se a uma altitude de 186 metros acima do nível do mar. O clima local apresenta variações térmicas pouco acentuadas ao longo do ano, com temperaturas que oscilam entre 21,4°C e 32,3°C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante é tropical do tipo AW' – subúmido seco –, caracterizado por duas estações distintas: uma chuvosa, que ocorre de dezembro a maio, com médias mensais superiores a 155 mm, e outra seca, entre junho e novembro. Durante o período de estiagem, os índices pluviométricos variam entre 2,2 mm e 94,8 mm, enquanto na estação chuvosa os valores oscilam entre 44,8 mm e 234,5

mm. A média anual de precipitação registrada é de aproximadamente 1.108 mm, com base em dados coletados entre 1961 e 1990 (Jornal do Tempo, 2011).

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se na análise cartográfica comparativa, com o propósito de identificar e interpretar as variações espaciais e temporais na ocorrência de queimadas no município de Mirador, estado do Maranhão, ao longo do período compreendido entre os anos de 2013 e 2023. Para tal abordagem, foi utilizado o software livre e de código aberto QGIS (Quantum GIS), amplamente reconhecido no meio acadêmico e técnico pela sua robustez em manipulação de dados geoespaciais. A seleção e integração das bases de dados seguiram critérios de confiabilidade e relevância, sendo empregados conjuntos de dados provenientes de fontes institucionais consolidadas, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a plataforma MapBiomas, esta última especializada no monitoramento do uso e cobertura da terra por sensoriamento remoto.

O processo metodológico teve início com o download da malha municipal oficial do estado do Maranhão, disponível no portal do IBGE, que foi posteriormente inserida no ambiente do QGIS, para definição precisa dos limites territoriais do município de Mirador. A partir dessa base, delimitou-se a área de estudo por meio da aplicação de uma camada de máscara, técnica que permite isolar espacialmente o recorte geográfico de interesse, removendo as bordas excedentes e otimizando a visualização e análise dos dados.

Em seguida, os dados de focos de calor,

fornecidos em formato vetorial, foram importados para o software e integrados ao projeto cartográfico. Para garantir uma leitura visual clara e tecnicamente precisa, aplicou-se um sistema de codificação de cores, baseado em parâmetros predefinidos constantes no arquivo de referência, permitindo a distinção entre os diferentes níveis de incidência de queimadas ao longo dos anos. A identificação numérica dos eventos foi cuidadosamente correlacionada às legendas temáticas, com posterior edição dos rótulos e simbologias, de forma a assegurar coerência visual, fidelidade aos dados originais e qualidade na comunicação da informação geoespacial.

Essa abordagem metodológica permitiu a construção de mapas temáticos comparativos, que evidenciam padrões de distribuição das queimadas ao longo do tempo e, sua relação com o uso da terra no município, contribuindo para análises interpretativas de caráter ambiental, territorial e socioeconômico. Além disso, a utilização de ferramentas geotecnológicas de acesso livre reforça o compromisso com a ciência aberta e com a democratização do conhecimento técnico-científico, promovendo maior acessibilidade e reprodutibilidade dos resultados.

3. Resultados e Impactos Alcançados

A elevada incidência de focos de queimadas no município de Mirador, localizado no sul do Maranhão (Figura 2), constitui uma preocupação ambiental recorrente, sobretudo no interior do Parque Estadual do Mirador (PEM), a maior unidade



de conservação estadual.

A literatura aponta que a região tem sido historicamente afetada por incêndios florestais, com destaque para os anos de 2013 e 2015, quando o Maranhão figurou entre os estados com maior número de ocorrências no país (Mapbiomas, 2023).

Em 2013, o estado registrou 28.228 focos de incêndio, liderando o ranking nacional e apresentando um aumento de 145% em relação a 2011. Nesse contexto, municípios como Grajaú, Balsas e Mirador destacaram-se entre os dez com maior número de registros, evidenciando a concentração desses eventos no sul maranhense. Já em 2015, Mirador ocupou a segunda posição entre os municípios brasileiros com mais focos de incêndio, totalizando 482 ocorrências entre os meses de janeiro e agosto (Terrabrasilis, 2024).

Estudos científicos têm buscado compreender essa dinâmica, a partir de diferentes abordagens metodológicas. Silva *et al.* (2017), por exemplo, investigaram a distribuição espacial das queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012, revelando que o PEM concentrou aproximadamente 7,7% dos focos registrados em todo o estado no período. Utilizando dados de sensoriamento remoto, os autores destacaram a vulnerabilidade das unidades de conservação frente às pressões antrópicas, como a expansão agropecuária e a prática do uso do fogo para manejo de pastagens.

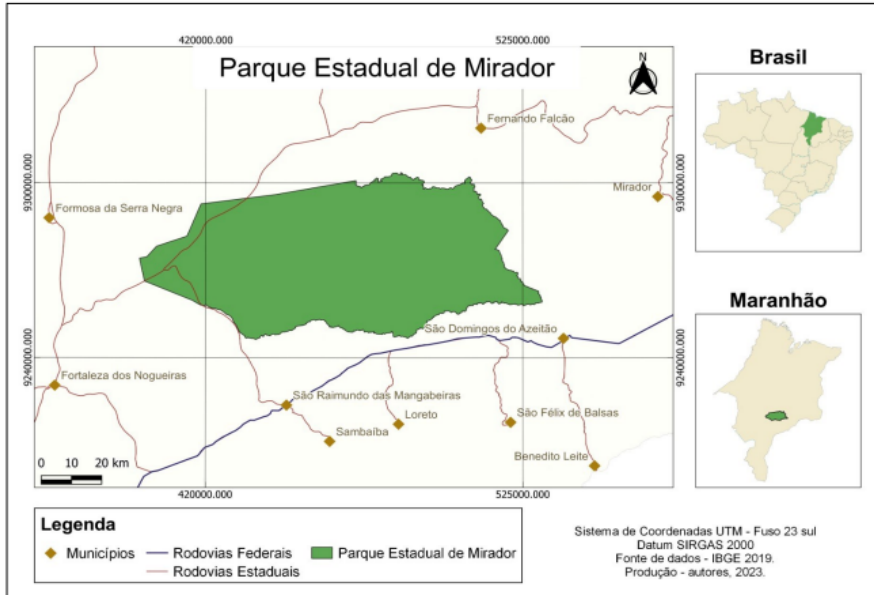


Figura 2. Mapa de localização do Parque Estadual do Mirador, MA, Brasil.

Fonte: Silva *et al.* (2023).

Complementarmente, Caldas *et al.* (2014) realizaram uma análise detalhada dos focos de incêndio no PEM no período de 2002 a 2013, empregando Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os resultados indicaram uma média anual de 733 focos de queimadas, com padrões espaciais que sugerem recorrência em áreas específicas do parque. Os autores reforçam a urgência de políticas públicas voltadas ao monitoramento contínuo, bem como a implementação de estratégias preventivas e educativas junto às comunidades do entorno.

A Figura 3 ilustra a distribuição espacial da redução da vegetação, devido a focos de incêndio no município de Mirador no ano de 2013,

evidenciando as zonas de maior vulnerabilidade. Tais dados corroboram a necessidade de ações integradas de conservação ambiental e uso sustentável do território, especialmente em áreas de proteção permanente, como o Parque Estadual do Mirador.

Há uma intensificação preocupante dos incêndios no estado do Maranhão, com destaque para o município de Mirador. De acordo com o Boletim Diário de Situação da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), em 2023 foram registrados 30 alertas de fogo ativos, detectados por meio do monitoramento contínuo realizado pela Sala de Situação da própria secretaria (SEMA, 2023). Esses dados refletem a persistência e a gravidade da ocorrência de queimadas na região, especialmente em áreas de conservação ambiental como o Parque Estadual do Mirador (PEM).

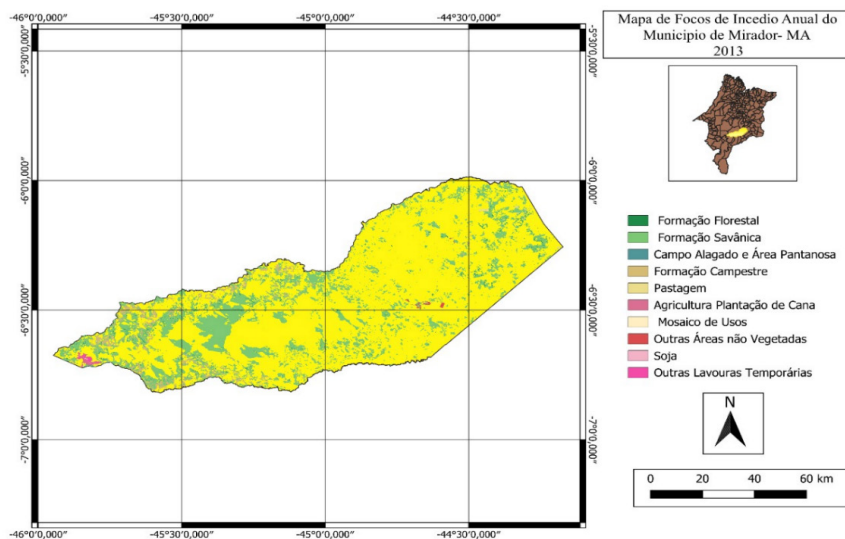


Figura 3. Mapa de Focos de Incêndio de 2013 do Município de Mirador – MA.

Fonte: Viana *et al.* (2024).

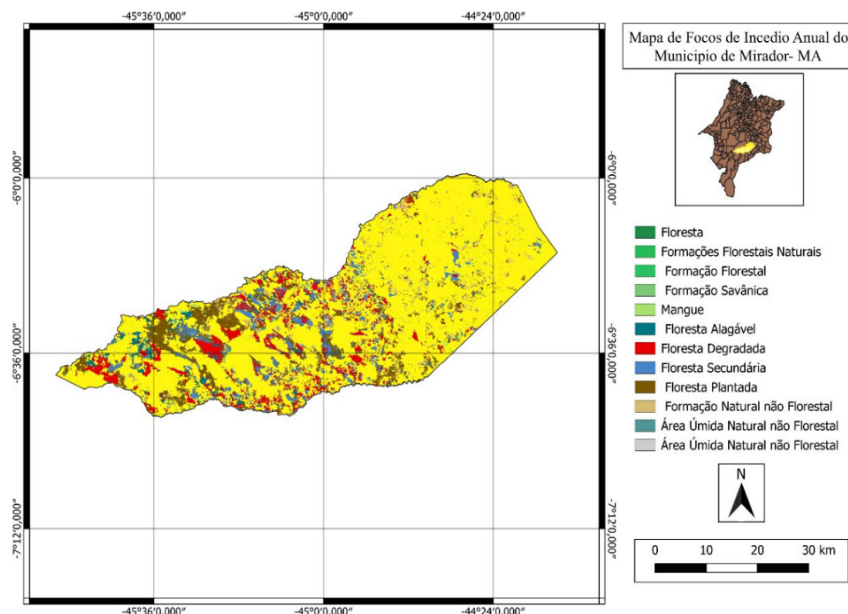


Figura 4. Mapa de Focos de Incêndio de 2023 do Município de Mirador - MA.

Fonte: Viana *et al.* (2025).

Paralelamente, um estudo realizado em 2023 empregou técnicas de sensoriamento remoto para mapear áreas afetadas por queimadas no bioma Cerrado maranhense, abrangendo também o PEM. A pesquisa utilizou o Índice de Queimada por Diferença Normalizada (NBR), aplicado a imagens captadas pelo sensor OLI do satélite Landsat-8, o que permitiu a detecção semiautomática das cicatrizes de fogo. Os resultados evidenciaram uma forte correlação entre os focos de calor detectados e as áreas efetivamente queimadas, atestando a eficácia da metodologia utilizada para o monitoramento e a detecção precisa dos incêndios (Silva *et al.*, 2019).

A Figura 4 apresenta a perda da vegetação

causada por focos de incêndio no município de Mirador ao longo de 2023, destacando o agravamento do problema e a necessidade de intensificação das estratégias de prevenção e controle. Esses resultados reforçam a importância do uso de tecnologias de geoprocessamento no apoio à gestão ambiental, especialmente em territórios com elevada sensibilidade ecológica.

O mapa temático destaca, de forma clara, a distribuição dos distintos tipos de coberturas e o posicionamento geográfico dos locais outrora atingidos por incêndios entre os anos de 2013 e 2023, permitindo a interpretação crítica da relação entre as atividades produtivas, em especial a pecuária, e os processos de degradação ambiental.

A análise do uso do solo no município de Mirador (MA), com destaque para a predominância da categoria “formação natural não florestal”, majoritariamente associada a áreas de pastagens abertas, permite estabelecer uma correlação direta com os princípios estabelecidos pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11 (ODS 11) – Cidades e Comunidades Sustentáveis. A expansão da pecuária extensiva, marcada pela utilização recorrente do fogo como prática de manejo, tem provocado a degradação de formações vegetais nativas, como florestas e savanas, intensificando a fragmentação dos ecossistemas e comprometendo a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais à sustentabilidade territorial, bem como os incêndios de origem natural, provocados pelo excesso de calor durante o verão seco no município, os quais, muitas vezes, tornam-se incontroláveis.

Tais práticas revelam um modelo de ocupação



do solo, que desconsidera aspectos fundamentais da resiliência ambiental e do planejamento territorial integrado, pilares centrais do ODS 11. A ocorrência de incêndios de origem antrópica, impulsionados pelo uso inadequado do fogo, afeta não apenas os biomas locais, mas também, a segurança e o bem-estar das comunidades rurais, que passam a conviver com os riscos associados à degradação ambiental, à instabilidade climática e à perda de qualidade de vida. Esse cenário contraria diretamente metas como a 11.4, que propõe a proteção do patrimônio natural e a 11.b, que estimula a adoção de políticas inclusivas e resilientes à mudança do clima e aos desastres ambientais.

Os dados observados indicam a necessidade de reavaliar as estratégias de uso do solo no município, incorporando princípios de sustentabilidade e resiliência ecológica ao planejamento rural. A promoção de práticas agropecuárias sustentáveis, o fortalecimento da governança ambiental e a implementação de mecanismos de monitoramento e controle de queimadas são medidas imprescindíveis para alinhar o desenvolvimento econômico local aos compromissos assumidos na Agenda 2030, em especial no que se refere à construção de comunidades sustentáveis e adaptadas aos desafios ambientais contemporâneos.

Além das áreas de pastagem, o mapa também evidencia a substituição de vegetação nativa pela prática agrícola, especialmente pelo cultivo temporário, como o da soja. Embora essas áreas ocupem uma proporção significativamente menor em comparação às pastagens, a utilização indiscriminada do fogo para a limpeza de pequenas

áreas circunvizinhas, tem causado sérios prejuízos às áreas verdes adjacentes.

Esses danos são agravados pela ausência de técnicas adequadas de manejo do fogo, como a escolha correta do horário e a consideração das condições do vento, fatores fundamentais para o controle das queimadas. Como consequência, ocorre a disseminação descontrolada do fogo por extensas áreas anteriormente ocupadas por espécies nativas, resultando em significativos impactos ambientais. Tais práticas reforçam a necessidade urgente de promover alternativas tecnológicas e manejos mais sustentáveis, que reduzam a dependência do fogo como instrumento produtivo.

Os impactos da intensificação da pecuária associada ao uso inadequado do fogo são múltiplos e preocupantes. Entre os principais efeitos, destacam-se a degradação do solo, a compactação da terra, a perda da cobertura vegetal nativa, o assoreamento de cursos d'água e o incremento nas emissões de gases de efeito estufa (Zabotto, 2019). Esses processos não apenas comprometem o equilíbrio ambiental, mas também, afetam diretamente as populações rurais, que enfrentam prejuízos econômicos, riscos à saúde e perda da capacidade produtiva em médio e longo prazo.

A dinâmica territorial observada no município de Mirador, conforme evidenciado pela sobreposição dos focos de calor, com áreas classificadas como vegetação degradada e floresta secundária, revela um padrão de uso dos recursos naturais que entra em desacordo com os princípios do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (ODS 12) – Consumo e Produção Responsáveis.

A conversão contínua de formações florestais originais em vegetações secundárias ou em áreas destinadas à agropecuária demonstra um modelo produtivo baseado na exploração intensiva do solo e na baixa capacidade de regeneração ambiental, resultando na fragmentação de habitats e na perda da biodiversidade (Bandeira; Kneib, 2017).

O acúmulo de focos de calor em regiões ambientalmente sensíveis, como áreas úmidas naturais e vegetações já degradadas, evidencia a adoção de práticas insustentáveis de manejo da terra, muitas vezes associadas ao uso indiscriminado do fogo. Esse processo compromete diretamente a integridade dos ecossistemas e acarreta impactos cumulativos e irreversíveis sobre a fauna, a flora e os ciclos hidrológicos locais. Tais consequências estão em desacordo com metas específicas do ODS 12, como a meta 12.2, que propõe alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, e a meta 12.4, que visa reduzir significativamente a liberação de substâncias nocivas ao meio ambiente, incluindo a poluição atmosférica decorrente de queimadas.

A situação diagnosticada no território de Mirador aponta para a urgência na revisão dos modelos produtivos adotados, com a incorporação de estratégias que priorizem a conservação dos recursos naturais e a adoção de técnicas agrícolas sustentáveis. Medidas como o controle rigoroso do uso do fogo, a recuperação de áreas degradadas e, o incentivo a sistemas produtivos integrados e de baixo impacto ambiental são essenciais para promover padrões de produção e consumo compatíveis com os compromissos da Agenda 2030,

conforme preconizado pelo ODS 12.

Torna-se imprescindível a formulação e implementação de políticas públicas voltadas à gestão ambiental integrada e, à promoção do uso sustentável da terra. Entre as ações prioritárias, destacam-se o fortalecimento da fiscalização ambiental, o estímulo à adoção de práticas agropecuárias sustentáveis, a recuperação de áreas degradadas e o incentivo a sistemas produtivos integrados, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Além disso, é fundamental ampliar a conscientização dos produtores rurais sobre os riscos associados ao uso do fogo e, promover capacitações técnicas que ofereçam alternativas eficientes de manejo da vegetação e dos resíduos orgânicos.

A intensificação dos incêndios na região do Parque Estadual do Mirador (PEM) está fortemente associada à crescente pressão exercida por atividades agropecuárias e, à expansão desordenada das áreas de pastagem em seu entorno. Estudos apontam (Corrêa; Alencar; 2013; Rosa; Ribeiro, 2013) que essas práticas, quando aliadas ao uso inadequado dos recursos naturais, ampliam significativamente os impactos ambientais, promovendo a degradação do solo, a fragmentação de habitats e a consequente perda de biodiversidade.

Nesse contexto, a adoção de estratégias de monitoramento contínuo, com o suporte de tecnologias de sensoriamento remoto e, sistemas de alerta precoce é fundamental para o acompanhamento em tempo real dos focos de incêndio e, para a implementação de medidas preventivas e corretivas mais eficazes. No entanto,

o enfrentamento do problema exige, também, a articulação com políticas públicas voltadas ao manejo sustentável da terra. Práticas como a implantação de sistemas agroflorestais, a agricultura regenerativa e o incentivo à recuperação de áreas degradadas representam alternativas viáveis, para conciliar produção agrícola e conservação ambiental.

A educação ambiental surge como ferramenta indispensável para sensibilizar e engajar as comunidades locais na proteção dos ecossistemas. A disseminação de conhecimentos sobre os riscos das queimadas e os benefícios de práticas sustentáveis contribui, para a construção de uma cultura de cuidado com o meio ambiente. Dessa forma, a integração entre tecnologias de monitoramento, políticas de uso sustentável da terra e ações educativas representa um caminho promissor para a mitigação das queimadas e para a promoção da sustentabilidade e da resiliência socioambiental na região. Essa realidade exige ações coordenadas de ordenamento territorial, monitoramento ambiental e fomento à produção sustentável, de modo a assegurar a conservação dos recursos naturais e a viabilidade econômica das atividades agropecuárias no longo prazo.

Considerações Finais

A análise espacial e temporal dos focos de incêndio no município de Mirador, Maranhão, no período de 2013 a 2023, evidenciou um crescimento significativo na ocorrência de queimadas, fortemente associado à intensificação das

atividades agropecuárias na região. Esse avanço tem promovido a conversão progressiva de áreas de vegetação nativa em pastagens e cultivos agrícolas, resultando em alterações drásticas no uso da terra e na estrutura dos ecossistemas locais. Tal cenário compromete diretamente o cumprimento de metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os ODS 11 e 12.

O ODS 11, que trata da construção de cidades e comunidades sustentáveis, é afetado negativamente pela degradação ambiental provocada pelas queimadas, uma vez que tais eventos reduzem a qualidade ambiental, afetam a saúde pública devido à emissão de poluentes atmosféricos, e colocam em risco a segurança e o bem-estar das populações rurais. Paralelamente, o ODS 12, que propõe assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, é diretamente desafiado pelo modelo de uso do solo vigente, caracterizado por práticas não sustentáveis de manejo, como o uso recorrente e descontrolado do fogo para limpeza e renovação de áreas produtivas.

Nesse contexto, destaca-se a importância estratégica da conservação do Parque Estadual do Mirador, unidade de conservação que representa um dos últimos remanescentes significativos de vegetação nativa no território, e cuja integridade é fundamental para a manutenção da biodiversidade dos serviços ecossistêmicos e, da regulação climática regional. A adoção de práticas agropecuárias sustentáveis, aliada ao fortalecimento da governança ambiental e, ao estímulo à recuperação de áreas degradadas, surge como uma medida essencial para mitigar os impactos identificados, favorecendo a resiliência

ecológica e contribuindo para a harmonização entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Assim, a gestão ambiental integrada e o ordenamento territorial tornam-se elementos centrais, para assegurar a sustentabilidade do uso da terra em Mirador, em conformidade com os compromissos assumidos na Agenda 2030.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L *et al.* **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: [s.n.], 2006. 232 p.: il. (Série Geologia e Mineração, n. 1).

AZEVEDO, A.C.G. **Ecossistemas maranhenses série ecológica**: 1. São Luís, MA: UEMA Editora, 2002.

BANDEIRA, A. C.; KNEIB, E. C. Polos geradores de viagens e seus impactos na paisagem urbana: um estudo sobre o impacto de um Shopping Center em Goiânia-GO (Brasil). **Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía**, v. 26, n. 1, p. 187-200, 2017.

CALDAS, J. A *et al.* Análise dos focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador (PEM) utilizando SIG. **Anais... XIV Safety, Health and Environment World Congress**, 2014.

CORRÊA, C. R.; ALENCAR, R.C.C. "Focos de Queimadas em Unidades de Conservação". **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.



IPEA. **Objetivos do desenvolvimento sustentável.** 2019. Disponível em:< <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>> Acesso em: 01 de maio de 2025.

IBAMA. **Incêndios florestais.** 2023. Disponível em:< <https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/incendios-florestais>> Acesso: 25 de junho de 2025.

JORNAL DO TEMPO. **Previsão.** Disponível em: <<https://www.tempo.com/mirador.htm>>. Acesso em: 01 de maio de 2025.

MORITZ, M.A. *et al.* Learning to coexist with wildfire. **Nature**, v. 5, p. 58–66, 2014.

MAPBIOMAS. **Histórico do fogo no Brasil (1985-2023).** 2023. Disponível em: < <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/hotsite-fogo>> Acesso em: 25 de junho de 2025.

ROSA, W. S. S. da.; RIBEIRO, S. R. A. Detecção e estimativa de área queimada entre o limite do Parque Estadual de Vila Velha – PR e sua zona de amortecimento mediante sensoriamento remoto. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 1, p. 102 - 118, jan./jun. 2013.

SILVA, N. *et al.* A **seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos.** Parcerias Estratégicas, Brasília DF, v. 22, n. 44, p. 119-138, jan./jun. 2017.

SCHMIDT, I. B. *et al.* Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas–



recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 41-54, 2016

SEMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS. Boletim Diário de Situação - Monitoramento de Queimadas. 2023. Disponível em: < https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/N%C2%BA_277_BOLETIM_DI%C3%81RIO_DE_SITUA%C3%87%C3%83O-04-10-2023.pdf> Acesso em: 02 de maio de 2025.

SALES, G. M. *et al.* Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 14, n. 1, p. 55-77, 2019.

SILVA, R. M. *et al.* Uso de sensoriamento remoto no mapeamento de áreas queimadas no Cerrado maranhense. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.13, n.2, 2019.

TOLEDO, A.P.; BIZAWU, K. Coordenação pelo corpo de bombeiros militar das medidas de prevenção e combate a incêndios florestais tomadas por brigadistas em Minas Gerais em substituição da força-tarefa previdência. **Revista Veredas do Direito**, v.21, e212782, 2024.

TERRABRASILIS. **Monitoramento de focos ativos por estado**. Disponível em: < https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/> Acesso: 25 de junho de 2025.
ZABOTTO, A.R. Estudos sobre impactos ambientais:



Uma abordagem contemporânea. Botucatu: FEPAF, 2019.

ZABOTTO, A.R. **Estudos sobre impactos ambientais:**
Uma abordagem contemporânea. Botucatu: FEPAF, 2019.



POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM ALINHADA AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

ENERGY POTENTIAL OF RESIDUAL BIOMASS IN THE TOCANTINA REGION OF MARANHÃO: AN APPROACH ALIGNED WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Michael Douglas Roque Lima¹
Joabel Raabe¹
Argel Costa Souza¹
Jonathan Dias Marques²
Felipe Alexandre Rizzo³

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



1 Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) - Imperatriz, MA - Brasil

2 Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém, PA – Brasil

3 Instituto Federal do Maranhão (IFMA) – Açailândia, MA – Brasil

Resumo: Este capítulo aborda o potencial energético de biomassas residuais na região Tocantina do Maranhão, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ODS 7 (Energia Limpa), ODS 12 (Produção Responsável) e ODS 13 (Combate às Mudanças Climáticas). A região, situada em uma zona de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, possui abundantes resíduos agrícolas e florestais, como casca de coco babaçu, palhadas e restos de madeira, que podem ser convertidos em energia através de tecnologias como pirólise, gaseificação e briquetagem. O estudo destaca a importância da biomassa para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, mitigar emissões de gases de efeito estufa e promover desenvolvimento regional sustentável. Além disso, discute desafios como infraestrutura logística, políticas públicas e acesso a tecnologias, propondo soluções integradas entre setor produtivo, governo e academia.

Palavras-chave: Fontes renováveis; Resíduos agroflorestais; Transição energética; Políticas públicas; Bioeconomia.

Abstract: This chapter examines the energy potential of residual biomass in the Tocantina region of Maranhão, Brazil, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 7 (Affordable and Clean Energy), SDG 12 (Responsible Consumption and Production), and SDG 13 (Climate Action). The region, located in a transition zone between the Amazon and Cerrado

biomes, generates significant agricultural and forestry residues, such as babassu coconut shells, crop straw, and wood waste, that can be converted into energy through pyrolysis, gasification, and briquetting. The study emphasizes biomass as a key alternative to fossil fuels, reducing greenhouse gas emissions while fostering sustainable regional development. Challenges such as logistical infrastructure, public policies, and technology access are discussed, and integrated solutions involving industry, government, and research institutions are proposed.

Keywords: Renewable sources; Agroforestry waste; Energy transition; Public policies; Bioeconomy.

1. Contextualização

O aumento do uso de fontes limpas e seguras de energia contribui para a diversificação da matriz energética do Brasil e redução da dependência de combustíveis fósseis, que são os principais responsáveis pelas altas emissões de gases de efeito estufa (Uddin *et al.*, 2019). As Nações Unidas (ONU) entendem que a garantia da energia limpa e acessível a todos (Objetivo 7) e a mitigação das mudanças climáticas globais (Objetivo 13) são dois passos importantes para o desenvolvimento sustentável mundial. Essas preocupações, somadas ao alto custo de fornecimento e à crescente demanda por energia, têm estimulado o interesse pelo uso de fontes renováveis em todo o mundo (Janowiak; Webster, 2010).

Diversos países utilizam a biomassa agrícola e florestal, especialmente lenha, como fonte

energética, dentre eles o Brasil (Teixeira *et al.*, 2018), Nigéria (Adamu *et al.*, 2018), Índia (Taran *et al.*, 2016), Espanha (Perea-Moreno *et al.*, 2019), Finlândia, Suécia (Koponen *et al.*, 2015), Austrália (Rothe *et al.*, 2015), China (Ahmed *et al.*, 2016) e Irlanda (Van Den Broek *et al.*, 2001). A literatura mostra que o Brasil possui recursos de biomassa potencialmente suficientes para equilibrar a demanda total de energia primária até 2030 (Welfle, 2017), com destaque para resíduos agrícolas e florestais (Santos *et al.*, 2017).

O uso de biomassa como alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, se justifica por ser uma fonte renovável, biodegradável, amplamente disponível e com potencial para substituir combustíveis fósseis em diversas aplicações, como geração de eletricidade, sinterização, fusão, calcinação e produção de carvão vegetal (MMA, 2018). Segundo o balanço energético nacional, 49,1% da matriz energética brasileira no ano de 2023 foi proveniente de fontes sustentáveis, como biomassa de cana (16,9%), hidráulica (12,1%), eólica (2,6%), lenha e carvão vegetal (8,6%), licor negro e outras renováveis (7,2%) e solar (1,7%) (EPE, 2024), o que demonstra o elevado nível de investimento em tecnologias limpas para geração de energia, quando comparado a outros países.

Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Brasil ocupa o sexto lugar entre os maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) do planeta. A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), ratificada pelo governo brasileiro em 2016 após o Acordo de Paris e revisada em 2021, estabelece a meta de reduzir

as emissões de gases de efeito estufa em 48% até 2025 e em 53% até 2030, ambas em comparação às emissões de 2005 (Brasil, 2023). Além disso, o país pretende aumentar a participação de energias renováveis na matriz energética, com um foco em fontes como solar, eólica e biomassa (Talanoa, 2023).

A região Nordeste, devido à sua localização geográfica estratégica, apresenta grande potencial para contribuir com o abastecimento energético e, com o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE no país. A região destaca-se pela capacidade de produção de energia eólica, solar e térmica utilizando a queima de biomassas oriundas de resíduos agrícolas e florestais, além de, madeiras provenientes de florestas energéticas, especialmente espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Embora os plantios de *Eucalyptus* sejam as principais fontes de matéria-prima para geração de energia no Brasil, a participação do Nordeste ainda é incipiente, representando apenas 13% da área plantada nacional, que totalizava 7,8 milhões de hectares em 2023 (IBÁ, 2024). O estado do Maranhão possui 290.076 hectares cultivados com essas espécies (3,7%), destinados principalmente à produção de celulose e papel, carvão vegetal, mourões, estacas e dormentes. Essa realidade evidencia a necessidade de identificar e viabilizar fontes alternativas para fins energéticos no estado, especialmente na região Tocantina, que abriga o segundo maior polo siderúrgico do Brasil.

Este capítulo de livro aborda o potencial energético das biomassas geradas na região Tocantina do Maranhão, com o objetivo de subsidiar políticas públicas e estratégias de

desenvolvimento sustentável alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente os ODS 7, 12 e 13. Espera-se que os resultados e discussões apresentados possam contribuir para ampliar o conhecimento técnico e científico sobre as fontes locais de biomassa, estimular investimentos em tecnologias mais eficientes de aproveitamento energético e, fomentar a diversificação da matriz energética regional.

Além disso, o capítulo busca fortalecer a integração entre setor produtivo, poder público e instituições de pesquisa, criando subsídios para o desenvolvimento de projetos inovadores, que impulsionem a bioeconomia local, aumentem a competitividade da cadeia produtiva florestal e promovam avanços concretos na mitigação das mudanças climáticas e na geração de emprego e renda sustentável na região.

2. Caracterização da Região Tocantina do Maranhão

A Região Tocantina está localizada no sudoeste do Maranhão, numa faixa de transição ecológica entre os biomas Amazônia e Cerrado, o que confere elevada biodiversidade e heterogeneidade ambiental. Essa região compreende cerca de 22 municípios, destacando-se Imperatriz, Açailândia, João Lisboa, Estreito, Buriticupu, Amarante do Maranhão, Cidelândia e Senador La Rocque (IMESC, 2019).

Imperatriz, principal núcleo urbano da região, é o segundo maior município do Maranhão em população e Produto Interno Bruto (PIB), servindo



como polo regional de comércio, serviços, educação superior e, logística. A infraestrutura local inclui o Aeroporto Prefeito Renato Moreira e o Porto Seco de Porto Franco, além de ser cortada pela Ferrovia Norte-Sul e pelas rodovias BR-010 (Belém-Brasília) e BR-226, favorecendo o escoamento de produtos agrícolas, florestais e industriais (IBGE, 2025).

O clima da Região Tocantina é predominantemente tropical subúmido, com estação seca de maio a setembro e chuvosa de outubro a abril. As temperaturas médias variam entre 24 °C e 28 °C, com precipitação anual entre 1.200 mm e 1.800 mm (INMET, 2023). Essas condições, combinadas com a presença de solos relativamente férteis, favorecem tanto o cultivo de culturas agrícolas como soja, milho e arroz quanto a implantação de florestas energéticas, especialmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, adaptadas à região (Sousa; Lemos, Menezes, 2023; Oliveira e Dorner, 2022).

A expansão da fronteira agrícola e florestal tem gerado grandes volumes de resíduos lignocelulósicos — como palhadas, cascas e restos de colheita — que representam uma importante fonte de biomassa residual com alto potencial energético, sobretudo para tecnologias como briquetagem, pirólise e gaseificação (Saidu *et al.*, 2024).

A Região Tocantina abriga um dos principais polos siderúrgicos do Brasil, localizado entre os municípios de Açailândia e Buriticupu. Este complexo industrial é voltado à produção de ferro-gusa, cuja matriz energética é baseada no carvão vegetal. Historicamente, essa demanda incentivou a exploração de florestas nativas, mas atualmente tem impulsionado a expansão de florestas plantadas,

especialmente de Eucalyptus, com impactos diretos sobre a cadeia da biomassa energética. A escolha por essa matriz energética está relacionada à tradição regional na produção de carvão vegetal e ferro-gusa, além da proximidade com o sistema logístico de escoamento de minério de ferro da mineradora Vale – via Estrada de Ferro Carajás (Mancini, 2021).

Contudo, ainda persistem desafios socioeconômicos como desigualdade no acesso a serviços básicos e, infraestrutura energética em áreas rurais. Nesse contexto, o aproveitamento energético das biomassas residuais mostra-se estratégico para descentralizar a geração de energia, fortalecer a bioeconomia local e contribuir para os ODS 7, 12 e 13.

3. Fundamentos Teóricos e Técnicos sobre Biomassa

A biomassa tem ganhado uma crescente relevância no cenário energético global, especialmente após a crise do petróleo na década de 1970 (Resquin *et al.*, 2019). Esse interesse está relacionado à necessidade de alternativas aos combustíveis fósseis, que são fontes de energia não renováveis, finitas e cujas reservas vêm se esgotando pela superexploração. Além disso, o uso dos combustíveis fósseis está associado a impactos ambientais significativos, como a emissão de dióxido de carbono (CO₂) (Saleem, 2022; Kalak, 2019), principal gás responsável pelo aquecimento global.

Diante dessa problemática, tem-se observado uma crescente demanda por fontes renováveis de



energia (Civitarese *et al.*, 2019; Picchio *et al.*, 2020). Entre essas fontes, destaca-se a biomassa como uma alternativa promissora, por ser um recurso renovável, amplamente disponível, com emissões e absorção equilibradas de CO₂ e com potencial de geração energética, sem promover danos ao ambiente (Agbro; Ogie, 2012; Nhuchhen; Afzal, 2017).

A biomassa é composta por material orgânico proveniente de plantas, que se desenvolvem, entre outros processos, por meio da fotossíntese. Durante esse processo, as plantas assimilam o CO atmosférico, previamente liberado pela decomposição de outros organismos, formando um ciclo fechado de carbono. Assim, o CO₂ emitido na combustão ou conversão térmica da biomassa, não representa um acréscimo líquido na atmosfera, o que justifica sua classificação como fonte de energia renovável. A absorção da radiação solar, a fixação de CO₂ e, sua conversão em material orgânico são processos fundamentais em múltiplos níveis ecológicos e energéticos (Kalak, 2023).

Para fins energéticos, o termo biomassa abrange substâncias biodegradáveis de origem vegetal e animal, oriundas tanto de espécies cultivadas quanto de seus resíduos (Demirbas; Balat; Balat, 2009; Mignogna *et al.*, 2024). Em escala global, a biomassa é a terceira maior fonte de energia, ficando atrás apenas do carvão mineral e do petróleo, apresentando ainda vantagens ambientais, como menores teores de enxofre e cinzas quando comparada ao carvão mineral (Voća *et al.*, 2016).

No contexto brasileiro, a biomassa assume papel estratégico na matriz energética, sendo



amplamente utilizada para a geração de bioenergia, especialmente por meio de plantios florestais energéticos com espécies do gênero *Eucalyptus*. A madeira dessas espécies é a principal matéria-prima para a produção de carvão vegetal utilizado na indústria siderúrgica (Olba-Ziety *et al.*, 2020; Pena-Vergara *et al.*, 2022; Barros *et al.*, 2023).

Além dos plantios, resíduos madeireiros industriais — como cascas, serragem e pontas de tábuas — também são fontes significativas para fins energéticos (Demirbas; Balat; Balat, 2009; Fortaleza *et al.*, 2019). Soma-se a isso o potencial dos resíduos oriundos do manejo florestal sustentável na Amazônia, notadamente os galhos remanescentes da exploração (Lima *et al.*, 2020).

Resíduos agroindustriais provenientes do processamento de culturas como arroz, trigo, milho, soja, mandioca e cana-de-açúcar, também, se configuram como alternativas promissoras para geração de energia (Kumar *et al.*, 2013). Além disso, culturas energéticas específicas, como cana-de-açúcar, milho e beterraba, podem ser cultivadas com o propósito direto de produção de biomassa. Diante dessa diversidade de fontes e ampla disponibilidade de matéria-prima, a biomassa se consolida no Brasil como uma solução viável e sustentável para diversificação da matriz energética, com impactos positivos nos âmbitos ambiental, econômico e social.

A conversão da biomassa em energia envolve distintas rotas de conversão, escolhidas conforme as características da matéria-prima e o tipo de produto desejado. Cada rota utiliza processos específicos, para transformar os componentes orgânicos da biomassa em formas utilizáveis de energia ou

combustíveis.

Nas rotas de conversão térmica e termoquímica, destacam-se processos como a combustão, torrefação, gaseificação e pirólise (Figura 1). A combustão é o processo mais simples, no qual a biomassa é queimada para gerar eletricidade, calor e vapor (Trugilho *et al.*, 2017). A torrefação, por sua vez, consiste em um pré-tratamento térmico realizado entre 200 e 300 °C em atmosfera inerte, com o objetivo de alterar as propriedades físicas, estruturais e químicas da biomassa (Lu *et al.*, 2021), resultando principalmente na produção de biocarvão, também conhecido como biochar (Dai *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2024).

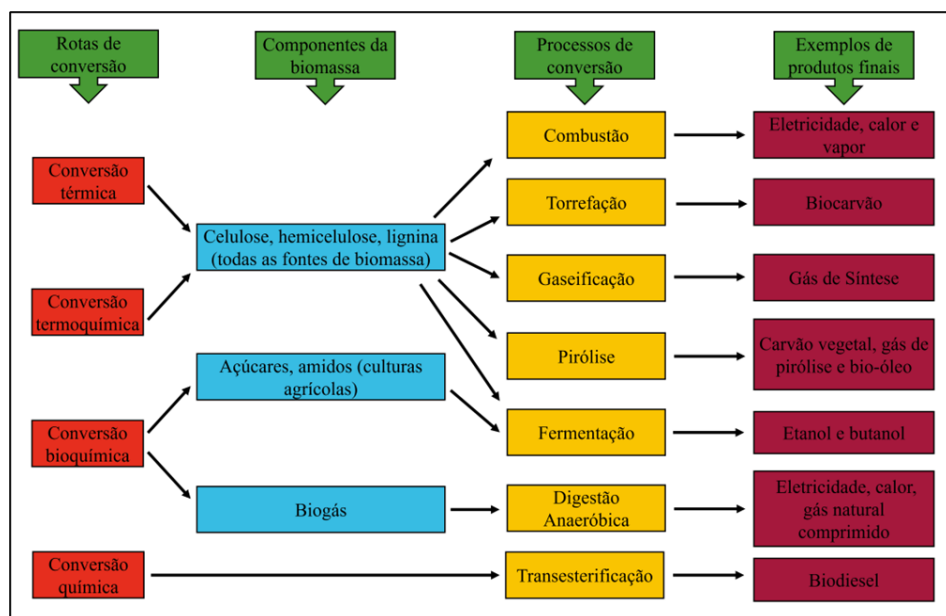


Figura 1. Rotas de conversão da biomassa em bioprodutos
Fonte: Adaptado de Kaczor; Bulinski; Werle, 2020; Abanades *et al.*, 2022; Kalak, 2023.

A gaseificação é um processo termoquímico, no qual a biomassa é submetida à combustão em ambiente com oxigênio limitado, resultando na formação de gás de síntese (uma mistura composta principalmente por hidrogênio, monóxido de carbono e metano) e, resíduo sólido formado por cinzas e carvão residual (Fang *et al.*, 2021; Mishra; Upadhyay, 2021). Esse gás possui múltiplas aplicações, desde a geração de calor industrial e eletricidade (por motores de combustão interna ou células a combustível), até a cogeração em ciclos combinados e a produção de biocombustíveis avançados, como éter dimetílico, metanol, gás natural sintético, hidrogênio e diesel Fischer-Tropsch (Narnaware; Panwar, 2022).

A pirólise, por sua vez, é um processo termoquímico em que a biomassa é decomposta em atmosfera ausente de oxigênio, originando produtos como carvão vegetal, gás de pirólise e bio-óleo. Essa técnica representa uma alternativa versátil e promissora para o aproveitamento energético de resíduos orgânicos (Kan; Strezov; Evans, 2016; Fahmy *et al.*, 2020; Kaczor; Bulinski; Werle, 2020). No Brasil, a pirólise é a principal rota de conversão utilizada para a produção de carvão vegetal com fins siderúrgicos (Trugilho *et al.*, 2017).

Entre as rotas emergentes, destaca-se a conversão bioquímica, que vem ganhando espaço com o avanço de tecnologias como biorrefinarias integradas, processos de degradação microbiana, fermentação consolidada, hidrólise enzimática e pré-tratamentos avançados (ex.: solventes iônicos), voltadas à produção de biogás, álcoois, ácidos orgânicos e gases (Ashokkumar *et al.*, 2024). Os dois

principais processos bioquímicos são a fermentação e a digestão anaeróbica (Mignogna *et al.*, 2024).

Na fermentação, microrganismos como bactérias ou leveduras convertem os açúcares presentes em materiais orgânicos em biocombustíveis, como etanol e butanol (Gnanasekaran *et al.*, 2023; Mignogna *et al.*, 2024). Já a digestão anaeróbica é um processo que transforma matéria orgânica em biometano e dióxido de carbono biogênico por meio de reações microbianas na ausência de oxigênio, gerando um biogás composto por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S) (Feng e Rosa, 2024). O biogás pode ser utilizado para geração de eletricidade, calor ou, quando purificado para biometano, pode ser injetado em gasodutos de gás natural, empregado em aquecimento, geração de energia ou como combustível para veículos a gás natural comprimido (GNC) e veículos a gás natural veicular (VGN) (Abanades *et al.*, 2022).

Por fim, a conversão química, representada principalmente pela transesterificação, é aplicada na produção de biodiesel a partir de óleos vegetais ou gorduras (DEMIRBAS *et al.*, 2008). Esse processo amplia ainda mais a gama de produtos energéticos derivados da biomassa, reforçando sua importância como alternativa renovável, diversificada e ambientalmente mais sustentável em comparação aos combustíveis fósseis.

4. Aspectos Legais do Aproveitamento Energético de Biomassas na Região Tocantina

○ aproveitamento energético de



biomassa constitui uma estratégia fundamental no enfrentamento das mudanças climáticas, especialmente no Estado do Maranhão, que instituiu a Lei nº 12.301, de 11 de junho de 2024, para estabelecer a Política Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas. Essa importante legislação destaca o uso de energias renováveis como um eixo central para a transição para uma economia de baixo carbono. Seus objetivos incluem o fomento à participação de fontes renováveis na matriz energética estadual (Art. 3º, II), a promoção da eficiência energética e a diversificação da matriz, com ênfase em tecnologias limpas (Art. 5º, X). Para alcançar esses objetivos, a lei prevê instrumentos como planos setoriais para a transição energética, visando à redução dos combustíveis fósseis e à expansão das energias renováveis (Art. 6º, XI), além de incentivos fiscais, tributários e creditícios para projetos alinhados com essa agenda (Art. 9º, II). Ademais, o texto reforça a integração das energias renováveis nas políticas municipais e a atração de investimentos para infraestrutura de baixo carbono (Art. 5º, XI), vinculando essas ações à redução das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação climática. A norma também estimula a certificação de projetos sustentáveis (Art. 13) e o mercado de carbono (Art. 12), potencializando o papel das energias limpas no desenvolvimento socioeconômico e ambiental do estado, o que demonstra um arcabouço legal robusto para o setor de biomassa.

A Lei nº 12.120/2023 e o Plano Maranhão 2050: Rumo a uma Economia Verde complementam esse cenário. O Maranhão está avançando na construção de uma economia sustentável através da



Lei 12.120/2023 e do Plano Estratégico 2050. Juntos, esses instrumentos criam um ambiente favorável para o desenvolvimento de biocombustíveis e biomassa, alinhando crescimento econômico com preservação ambiental. A Lei de Tributação Ecológica estabelece incentivos como o IPVA Verde, que a partir de 2030 beneficiará apenas veículos movidos a biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano) ou energias limpas. Além disso, a lei prevê isenção de ICMS para biogás produzido a partir de resíduos urbanos e agroindustriais. Essas medidas se conectam com o Plano Maranhão 2050, que visa reduzir desigualdades e promover uma matriz energética sustentável. No eixo “Meio Ambiente Valorizado e Resiliente”, o Plano 2050 destaca o Apoio ao Desenvolvimento Energético, onde a biomassa tem papel estratégico.

No Maranhão, o aproveitamento de resíduos florestais e agroindustriais representa uma estratégia relevante para promover sistemas produtivos sustentáveis, especialmente na agropecuária. Essa prática está em consonância com os objetivos do Plano de Ação Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC+MA), instituído pelo Decreto nº 39.176, de 18 de junho de 2024, ao estimular o uso eficiente dos recursos naturais e a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Ainda que o decreto não especifique todas as formas possíveis de valorização dos resíduos, sua diretriz orientadora permite a integração de diversas aplicações sustentáveis, como a geração de bioenergia, a compostagem e outras formas de reaproveitamento, fortalecendo a resiliência do setor agropecuário e

alinhando-se à política climática estadual. Nesse mesmo escopo, a Lei nº 11.578, de 1º de novembro de 2021, que institui a Política Estadual de Redução das Emissões de GEE, reforça o compromisso com a transição energética ao priorizar a ampliação de fontes renováveis na matriz energética estadual. Nesse sentido, a biomassa residual se destaca como vetor estratégico para diversificação energética, redução da dependência de combustíveis fósseis e consolidação de uma economia de baixo carbono no Maranhão.

A Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Maranhão (CONSEMA) nº 024/2017 complementa esse cenário ao incluir nos Anexos I e II os “Sistemas de Geração de Energia a partir de Biomassa”. Essa legislação dispõe que a atividade está sujeita ao licenciamento ambiental, classificando-a como potencial poluidor médio, o que indica que a atividade promove impacto ambiental moderado. Nesse sentido, medidas para mitigar os impactos são necessárias, o que reforça a necessidade de um desenvolvimento cuidadoso do setor de biomassa.

Ademais, a Portaria da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) nº 16/2012 estabelece um licenciamento ambiental simplificado para o extrativismo do coco babaçu realizado pelas Quebradeiras de Coco no Maranhão, destacando o aproveitamento sustentável de seus resíduos. O documento menciona especificamente a produção de carvão vegetal a partir da casca do coco babaçu, um coproduto de alta qualidade obtido sem a derrubada da palmeira, contribuindo para a redução do desmatamento. Essa atividade é considerada de baixo impacto ambiental e,

quando destinada ao uso doméstico fora de áreas povoadas, está dispensada de licenciamento (Art. 11). No entanto, produtores e consumidores (como possíveis usinas de energia) devem apresentar relatórios trimestrais de comercialização e mensais de aquisição, respectivamente, para fins de fiscalização (Arts. 9º e 10º). Além disso, as Quebradeiras de Coco assumem compromissos de sustentabilidade por meio de um Termo de Compromisso, garantindo práticas ambientalmente responsáveis. Embora a portaria não cite explicitamente a geração de energia, a produção de carvão vegetal a partir do resíduo do babaçu pode ser associada a processos energéticos, reforçando a viabilidade econômica e ecológica dessa cadeia produtiva, o que ilustra o potencial da biomassa regional para a produção de energia.

Por fim, a Portaria SEMA Nº 278, de 23/06/2023, do Maranhão, estabelece que a produção de carvão vegetal proveniente do aproveitamento de cascas de coco babaçu em tambores metálicos com capacidade de até 230 litros por quebradeiras de coco está dispensada de licenciamento ambiental, desde que realizada fora de áreas de patrimônio de povoados ou agrovilas.

5. Características das Biomassas Residuais da Região Tocantina

As principais biomassas do Nordeste brasileiro provêm de diversas fontes florestais e agrícolas, com destaque para a vegetação nativa dos biomas Caatinga, Cerrado e Amazônia. A Caatinga, apresenta alta relevância energética, com

produtividade média de 3,03 t MS/ha/ano em áreas com mais de 500 mm de chuva (MMA, 2018). Vale mencionar, que em se tratando de florestas naturais, é recomendado a prática do manejo florestal sustentável para a obtenção de produtos madeireiros e não madeireiros. Contudo, as madeiras residuais advindas dessa prática, como galhos, restos de raízes e caules podem ser direcionados para produção bioenergética.

O cajueiro gigante, incentivado nas décadas de 1970 e 1980, também representa uma fonte expressiva de biomassa lenhosa na Região Nordeste brasileira, mas sua disponibilidade tende a se esgotar devido à substituição por variedades anãs e outros usos do solo (MMA, 2018). A algaroba, espécie exótica invasora, é amplamente explorada como lenha fora de áreas protegidas, graças à sua madeira densa e crescimento rápido. Frutíferas como mangueira, goiabeira e laranjeira contribuem com resíduos de poda, especialmente em áreas irrigadas. O eucalipto, predominante na Bahia, é uma das poucas espécies implantadas com sucesso, sendo usado para lenha, carvão e celulose, embora sua expansão enfrente limitações climáticas e fundiárias (MMA, 2018).

Em relação à produção de carvão vegetal no Brasil, a fonte de matéria prima mais consumida é proveniente de espécies do gênero *Eucalyptus*. Contudo, esses plantios no Estado do Maranhão são incipientes, correspondendo a 3,7% do total de área cultivada no Brasil no ano de 2023 (IBÁ, 2024). Outras fontes alternativas são importantes e necessárias, especialmente pelo estado compor, junto ao Pará, o Polo Siderúrgico de Carajás, o segundo maior do

Brasil na produção de ferro gusa.

No Estado do Maranhão, as principais biomassas utilizadas na produção de energia são lenha, cana-de-açúcar e o babaçu (Teixeira, 2008). A lenha e os resíduos do babaçu normalmente são empregados para produção de carvão vegetal, enquanto os resíduos de cana-de-açúcar são utilizados para produção de etanol (Rocha *et al.*, 2022). Estudo conduzido por Lima *et al.* (2023) aponta que a lixívia, subproduto do processo de produção de celulose pela Empresa Suzano em Imperatriz - MA, complementa as fontes renováveis empregadas para produção de energia elétrica em usina termelétrica para a unidade fabril.

O Maranhão é o maior produtor de amêndoas de babaçu no Brasil, contribuindo no ano de 2023 com 26.475 t, o que resultou no valor de produção de 68,8 milhões de reais (IBGE, 2024). A literatura demonstra que para cada tonelada de amêndoa de coco babaçu produzida, há geração de 930 kg de resíduos (Protásio *et al.*, 2014). Nesse sentido, o quantitativo estimado de resíduos em 2023 é de 24.621,75 t no Estado do Maranhão. No atual sistema de fornecimento, o fruto é quebrado manualmente principalmente por extrativistas conhecidas como “quebradeiras”, resultando em coprodutos, como o epicarpo (externa, fibrosa e fina), mesocarpo (intermediária, fibrosa, com alta concentração de amido) e endocarpo (interna, lenhosa e muito resistente). A amêndoa corresponde a apenas 7% da estrutura do coco babaçu, sendo os 93% restantes compostos pelas frações do epicarpo (12%), mesocarpo (23%) e endocarpo (58%) (Protásio *et al.*, 2017). Essas partes constituem a biomassa do fruto



da palmeira do babaçu, conhecida como *Attalea speciosa*.

Em função de suas características químicas, como os teores de lignina e carbono, além de propriedades físicas, como a densidade, o endocarpo é considerado a parte mais relevante do fruto para a produção de carvão vegetal (Teixeira, 2008). Por outro lado, o mesocarpo, composto predominantemente por amido, possui elevado teor de voláteis e baixo conteúdo de carbono fixo e elementar (Teixeira, 2008), o que resulta em um material com menor estabilidade térmica, podendo comprometer significativamente o rendimento em carvão vegetal e carbono fixo.

Resultados promissores foram reportados por Protásio *et al.* (2014) para os teores de extrativos ($5,59 \pm 0,27 \%$), lignina ($31,03 \pm 0,05 \%$), cinzas ($1,73 \pm 0,14 \%$), carbono elementar ($47,28 \pm 0,57 \%$) e carbono fixo ($78,41 \pm 0,40 \%$). Vale destacar que os valores densidade básica ($1.273 \pm 81 \text{ kg/m}^3$), poder calorífico superior ($18,47 \pm 0,10 \text{ MJ/kg}$) e densidade energética ($23,51 \pm 0,13 \text{ GJ/m}^3$) se mostraram relevantes para aplicações energéticas. O endocarpo do coco babaçu apresenta elevada densidade básica e teor adequado de lignina, características que o tornam uma matéria-prima promissora para a produção sustentável de carvão vegetal, com potencial técnico para substituir o coque nas siderúrgicas brasileiras. Essa aplicação pode contribuir de forma significativa para o desenvolvimento econômico das comunidades extrativistas que vivem da coleta do coco babaçu, por meio da comercialização de um produto com maior valor agregado.

Importantes resultados para a densidade

relativa aparente (593 kg/m^3), teor de carbono fixo (73 %) (Protásio *et al.*, 2014b), poder calorífico superior (28,84 MJ/kg) e rendimento gravimétrico (35%) (Protásio *et al.*, 2014c) do carvão vegetal produzido em condições de laboratório sob temperatura final de carbonização de 450°C . Há relatos na literatura (Reis *et al.*, 2015) de carvão dessa biomassa produzido em condições operacionais atingindo teores médios de carbono fixo de 85,56%, cinzas de 3,61% e voláteis de 10,82%. Esses resultados são promissores, demonstrando carvões com queima mais lenta e maior geração de energia, o que é importante para o futuro da produção de carvão vegetal com finalidade industrial ou doméstica na Região Tocantina do Maranhão.

6. Contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

A valorização energética da biomassa residual na região Tocantina do Maranhão apresenta elevado potencial para contribuir com o cumprimento de três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU): o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). A seguir, cada um desses objetivos é apresentado de forma explicativa, seguido de sua respectiva correlação com o desenvolvimento de tecnologias e a utilização sustentável da biomassa para geração de energia.

6.1 ODS 7 – Energia Limpa e Acessível

O ODS 7 busca assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preço acessível à energia. Esse objetivo inclui metas como a expansão da infraestrutura e o aprimoramento de tecnologias para o fornecimento de serviços energéticos sustentáveis, especialmente em regiões menos desenvolvidas. Ele também propõe o aumento substancial da participação de fontes renováveis na matriz energética global, promovendo inclusão energética e justiça social (ONU Brasil, 2024a).

Nesse contexto, a biomassa residual surge como uma alternativa viável para promover o acesso descentralizado à energia em comunidades rurais e, polos industriais da região Tocantina. Tecnologias como a gaseificação, a digestão anaeróbica e a briquetagem viabilizam a conversão eficiente de resíduos como casca de arroz, serragem, bagaço de cana e restos de babaçu em eletricidade e calor (Casau *et al.*, 2022). Essa abordagem reduz a dependência de combustíveis fósseis, diminui custos operacionais e fortalece a soberania energética regional (Sampathkumar *et al.*, 2020), além de permitir maior autonomia energética para pequenos produtores e cooperativas.

6.2 ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis

O ODS 12 propõe assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, com foco na eficiência no uso de recursos naturais, redução da geração de resíduos e valorização de materiais recicláveis. Ele enfatiza a necessidade de processos

produtivos que minimizem os impactos ambientais e promovam a economia circular, além de incentivar o reaproveitamento de insumos e subprodutos em cadeias produtivas mais sustentáveis (ONU Brasil, 2024b).

A valorização energética da biomassa residual atende diretamente a esse objetivo ao reaproveitar materiais orgânicos de origem agrícola, florestal e agroindustrial que, de outra forma, seriam descartados ou queimados a céu aberto. Tecnologias como a pirólise e a produção de biochar possibilitam o uso eficiente desses resíduos, promovendo a recuperação de nutrientes e a redução de desperdícios (Hsiao e Hu, 2024; Casau *et al.*, 2022). Essa estratégia também fortalece cadeias produtivas sustentáveis e incentiva a inovação tecnológica local, promovendo práticas mais limpas e integradas ao conceito de economia circular (Diniz *et al.*, 2021).

6.3 ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima

O ODS 13 estabelece a necessidade de adotar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. Suas metas incluem o fortalecimento da resiliência frente a desastres ambientais, a integração da mudança climática nas políticas públicas e, o fomento a tecnologias que contribuam para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Um dos pontos-chave desse objetivo é a transição para uma economia de baixo carbono (ONU Brasil, 2024c).

A biomassa, por ser uma fonte renovável com

ciclo fechado de carbono, contribui para a redução líquida das emissões de CO₂, pois o carbono liberado na conversão energética é reabsorvido pelo crescimento das plantas utilizadas como matéria-prima. Seu potencial para estabilizar os sistemas energéticos torna-se essencial diante do aumento do uso de fontes renováveis intermitentes (Zagaria *et al.*, 2023). O desenvolvimento e a aplicação de tecnologias limpas — como gaseificação de resíduos florestais, produção de biogás por digestão anaeróbica e aproveitamento energético de resíduos do babaçu — substituem fontes fósseis poluentes e evitam práticas como a queima a céu aberto. Essas soluções mitigam o aquecimento global, melhoram a qualidade do ar e protegem o solo e os recursos hídricos, alinhando-se a compromissos internacionais como o Acordo de Paris (Srivastava; Pandey, 2024; Diniz *et al.*, 2021).

7. Desafios e Oportunidades para a Valorização da Biomassa

A valorização da biomassa residual como fonte energética na Região Tocantina do Maranhão representa uma oportunidade estratégica diante do contexto global de transição, para uma economia de baixo carbono. Entretanto, a consolidação dessa alternativa energética enfrenta entraves estruturais, tecnológicos (eficiência da conversão), legais (barreiras regulatórias) e socioeconômicos (viabilidade econômica) que limitam seu pleno aproveitamento (Rajvanshi *et al.*, 2022; Raina *et al.*, 2024). A ausência de políticas públicas robustas e específicas para o setor, aliada à dificuldade de

acesso a tecnologias eficientes e adaptadas às realidades locais, contribui para a subutilização de resíduos agroindustriais e florestais que poderiam ser transformados em energia de forma sustentável.

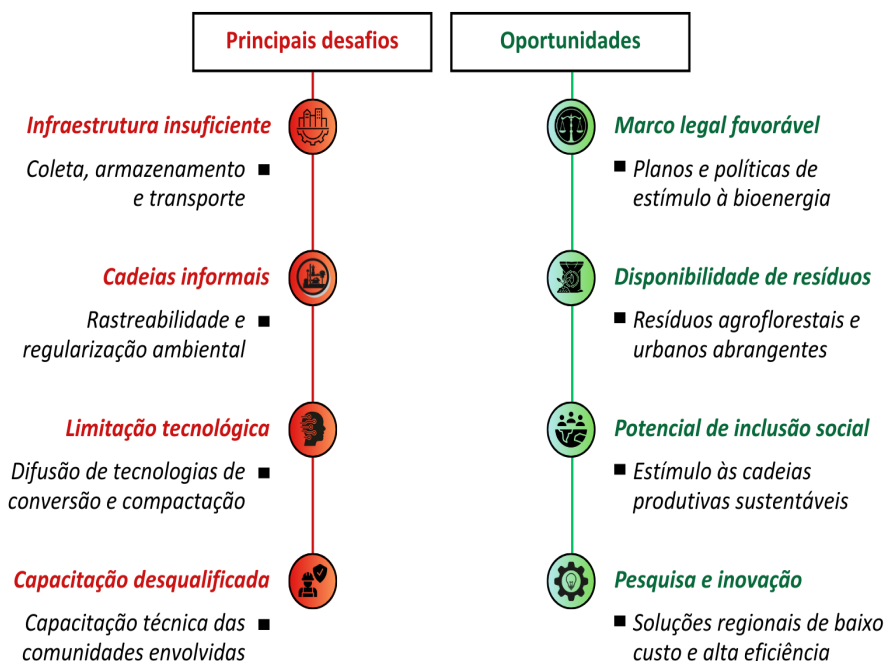


Figura 2. Desafios e oportunidades para a valorização da biomassa na Região Tocantina
Fonte: Autores, 2025

Entre os principais desafios, destaca-se a falta de infraestrutura logística para coleta, armazenamento e transporte da biomassa residual (Rajvanshi *et al.*, 2022), sobretudo em áreas rurais e de difícil acesso. A ausência de centros de triagem e processamento adequados compromete a

viabilidade econômica de projetos descentralizados de bioenergia, aumentando os custos operacionais e dificultando a integração com a matriz energética regional (Albahnasawi *et al.*, 2024). Além disso, a informalidade ainda predominante nas cadeias de fornecimento de resíduos, como a do coco babaçu e da madeira nativa, limita a rastreabilidade e a regularização ambiental, dificultando a atração de investimentos e o acesso a incentivos governamentais.

Do ponto de vista técnico, observa-se uma carência de unidades demonstrativas e centros de capacitação voltados à disseminação de tecnologias de conversão energética, como gaseificação, digestão anaeróbica e pirólise, que permitiriam o aproveitamento eficiente de diferentes tipos de biomassa.

Além disso, a limitada qualificação técnica das comunidades envolvidas no extrativismo e no manejo de resíduos, também, constitui uma barreira para a implementação de soluções inovadoras, que aliada a escassez de dados regionais sistematizados sobre a disponibilidade, o poder calorífico e a sazonalidade das biomassas dificultam o planejamento energético baseado em evidências.

No entanto, diante desses obstáculos, despontam oportunidades concretas para o avanço do setor. O Maranhão tem demonstrado iniciativas legislativas e estratégicas que criam um ambiente favorável para o desenvolvimento de cadeias sustentáveis de biomassa. Leis como a nº 12.301/2024, que institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, e o Plano Maranhão 2050, que propõe uma economia verde com foco em energias renováveis, fortalecem a base legal para o

fomento à bioenergia. A criação de incentivos fiscais e creditícios, bem como a priorização da biomassa em políticas públicas de mitigação e adaptação climática, contribui para atrair investimentos e fortalecer parcerias entre o poder público, instituições de ensino e o setor produtivo.

Adicionalmente, a Região Tocantina reúne condições favoráveis à expansão da bioeconomia: disponibilidade significativa de resíduos agrícolas (como casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e palhada de milho), resíduos florestais (madeireiros e não madeireiros) e urbanos; presença de cadeias produtivas extrativistas com saberes tradicionais, como as quebradeiras de coco; e proximidade de grandes polos industriais com demanda por insumos energéticos sustentáveis, como o polo siderúrgico de Açailândia e polo cerâmico de Imperatriz. Estes elementos indicam que a biomassa pode não apenas diversificar a matriz energética regional, mas também, fomentar a inclusão social e produtiva de comunidades historicamente marginalizadas.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o papel da extensão universitária, das ações governamentais, da pesquisa científica e da inovação tecnológica na superação das barreiras que limitam o aproveitamento da biomassa. A atuação integrada de universidades, institutos federais, centros de pesquisa e órgãos públicos pode viabilizar o desenvolvimento de soluções regionais legalmente amparadas, de baixo custo e alta eficiência, além de contribuir para a formação de profissionais qualificados. Dessa forma, investimentos em atividades de monitoramento, mapeamento, caracterização e beneficiamento das biomassas

disponíveis na região tornam-se essenciais, para embasar decisões estratégicas e fomentar o uso racional e sustentável desses recursos.

Nesse contexto, as tecnologias de compactação de resíduos de biomassa, como a pelletização e a briquetagem, configuram-se como alternativas viáveis sob os aspectos legal, social e ambiental, especialmente quando adaptadas às condições e especificidades regionais. Esses processos permitem a conversão de materiais fibrosos em biocombustíveis sólidos com alta densidade energética, o que facilita significativamente o transporte, o armazenamento e a utilização em sistemas de combustão controlada (Santana *et al.*, 2021).

Portanto, a valorização energética da biomassa na Região Tocantina deve ser compreendida como um processo abrangente, que exige ações coordenadas entre os diversos setores da sociedade. Superar os desafios e aproveitar as oportunidades existentes é essencial para transformar o potencial energético latente dos resíduos locais em vetor de desenvolvimento sustentável, alinhando geração de energia limpa, inclusão social, valorização dos saberes tradicionais e mitigação das mudanças climáticas.

Considerações Finais

A análise desenvolvida neste capítulo comprova o significativo potencial energético das biomassas residuais na região Tocantina do Maranhão, particularmente do coco babaçu e resíduos agroflorestais. Os dados apresentados

revelam que seu aproveitamento pode contribuir para a diversificação da matriz energética regional, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Embora as características físico-químicas desses materiais, especialmente do endocarpo de babaçu, demonstrem viabilidade técnica para produção energética, identificamos desafios críticos: infraestrutura inadequada, falta de tecnologias adaptadas e carência de políticas públicas específicas. O marco legal existente, como a Lei 12.301/2024, aponta direções promissoras, mas ainda insuficientes.

A concretização deste potencial exige ações integradas: desenvolvimento de tecnologias apropriadas, capacitação de comunidades locais e políticas que articulem produção energética, conservação ambiental e desenvolvimento social. A biomassa residual emerge como alternativa viável para o desenvolvimento regional sustentável, desde que abordada de forma equilibrada e adaptada às particularidades locais.

9. Referências

ABANADES, S. *et al.* A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, p. 3377–3400, 2022.

ADAMU, H. *et al.* Exploration of influence of chemical composition on combustion and fuel characteristics



of wood-charcoals commonly used in Bauchi State, Nigéria. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 8, n. 3, p. 1508-1519, 2018.

AGBRO, E. B.; OGIE, N. A. A comprehensive review of biomass resources and biofuel production potential in Nigéria. **Research Journal in Engineering and Applied Sciences**, v. 1, n. 3, p. 149-155, 2012.

AHMED, S. *et al.* A comparative review of China, India and Pakistan renewable energy sectors and sharing opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 216-225, 2016.

ALBAHNASAWI, A. *et al.* Biomass Waste and Bioenergy Production: Challenges and Alternatives. In: SRIVASTAV, A. L.; BHARDWAJ, A. K.; KUMAR, M. (eds) **Valorization of biomass wastes for environmental sustainability**. Cham: Springer, Cap. 3, p. 51–67, 2024.

ASHOKKUMAR, V. *et al.* Advancements in lignocellulosic biomass: A critical appraisal of fourth generation biofuels and value-added bioproduct. **Fuel**, v. 365, p. 1-18, 2024.

BARROS, D. S. *et al.* Does the segregation of wood waste from Amazonia improve the quality of charcoal produced in brick kilns? **BioEnergy Research**, v. 16, p. 1604–1617, 2023.

BRASIL. **Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) para o Acordo de Paris no Âmbito da UNFCCC**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2023.

CASAU, M. *et al.* Residual biomass: A comprehensive review on the importance, uses and potential in a circular bioeconomy approach. **Resources**, v. 11, n. 4, p. 35, 2022.

CIVITARESE, V. *et al.* Production of wood pellets from poplar trees managed as coppices with different harvesting cycles. **Energies**, v. 12, p. 2973, 2019.

DAI, L. *et al.* Integrated process of lignocellulosic biomass torrefaction and pyrolysis for upgrading bio-oil production: A state-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 20–36, 2019.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 1746–1760, 2009.

DINIZ, F. F. **et al.** Impacto ambiental e econômico do uso energético da biomassa: uma revisão sistemática. **Anais...** Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. 274 p.

FAHMY, T. Y. A. *et al.* Biomass pyrolysis: past, present, and future. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, p. 17–32, 2020.

FANG, Y. *et al.* Concentrated solar thermochemical gasification of biomass: Principles, applications, and development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, p. 1-15, 2021.

FENG, Y.; ROSA, L. Global biomethane and carbon dioxide removal potential through anaerobic digestion of waste biomass. *Environmental Research Letters*, v. 19, p. 1-17, 2024.

FORTALEZA, A. P. *et al.* Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1436-1451, 2019.

GNANASEKARAN, L. *et al.* The conversion of biomass to fuels via cutting-edge technologies: Explorations from natural utilization systems. **Fuel**, v. 331, p. 1-13, 2023.

HSIAO, C.; HU, J. Biomass and circular economy: Now and the future. **Biomass**, v. 4, n. 3, p. 720-739, 2024.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Panorama Estatístico do Setor Florestal Brasileiro**, 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Maranhão: Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>. Acesso em: 17 maio 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de babaçu no Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/babacu/br>. Acesso em: 17 maio 2025.

IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Prognóstico e Cenarização – Etapa Bioma Amazônico**. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC. São Luís, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Clima da Região Tocantina do Maranhão**. Brasília: INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 17 maio 2025.

JANOWIAK, M. K.; WEBSTER, C. R. Promoting ecological sustainability in woody biomass harvesting. **Journal of Forestry**, v. 108, n. 1, p. 16-23, 2010.

KACZOR, Z.; BULISKI, Z.; WERLE, S. Modelling approaches to waste biomass pyrolysis: a review. **Renewable Energy**, v. 159, p.427-443, 2020.

KALAK, T. Potential use of industrial biomass waste as a sustainable energy source in the future. **Energies**, v. 16, p. 1783, 2019.

KAN, T.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1126–1140, 2016.

KOPONEN, K. *et al.* **Sustainability of forest energy in Northern Europe**. VTT Technology, 2015.

KUMAR, A. Biofuels utilisation: an attempt to reduce GHG's and mitigate climate change. In: **Knowledge**

systems of societies for adaptation and mitigation of impacts of climate change. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 199-224, 2013.

LIMA, M. M. *et al.* O potencial das fontes renováveis de energia elétrica no Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 7, e18112742690, 2023.

LIMA, M. D. R. *et al.* Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, p. 1-18, 2020.

LU, H. *et al.* Integration of biomass torrefaction and gasification based on biomass classification: A Review. **Energy Technology**, v. 9, p. 1-20, 2021.

MANCINI, R. M. **Modelos produtivos, mudança institucional e mercado de trabalho na Amazônia maranhense:** estratégias empresariais e trajetórias de trabalhadores na indústria siderúrgica. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

MIGNOGNA, D. *et al.* Biomass energy and biofuels: perspective, potentials, and challenges in the energy transition. **Sustainability**, v. 16, n. 16, p. 7036, 2024.

MISHRA, S.; UPADHYAY, R. K. Review on biomass gasification: Gasifiers, gasifying mediums, and operational parameters. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 4, p. 329-340, 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Biomassa para**

energia no Nordeste: atualidade e perspectivas. 1 ed. Brasília, DF, MMA, 2018, 161p.

NARNAWARE, S.; PANWAR, N. L. Biomass gasification for climate change mitigation and policy framework in India: A review. **Bioresource Technology Reports**, v. 17, p. 1-16, 2022.

NHUCHHEN, D. R.; AFZAL, M. T. HHV predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses. **Bioengineering**, v. 4, n. 1, p. 7, 2017.

OLIVEIRA, T. J. A.; DORNER, S. H. Climate changes and land use in farming regions: evidence from Buritirana district (Jalapão gateway), Tocantins state, Brazil: 2004-2018. Redes. **Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 27, p. 1-21, 2022.

OLBA-ZIETY, E. *et al.* Willow Cultivation as Feedstock for Bioenergy-External Production Cost. **Energies**, v. 13, p. 1-17, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS 7:** Energia limpa e acessível. Brasília: ONU Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 16 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS 12:** Consumo e produção responsáveis. Brasília: ONU Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 16 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS 13:** Ação



contra a mudança global do clima. Brasília: ONU Brasil, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em: 16 maio 2025.

PENA-VERGARA, G. *et al.* Energy from planted forest and its residues characterization in Brazil. **Energy**, v. 239, p. 1-13, 2022.

PEREA-MORENO, M. A. *et al.* Biomass as renewable energy: worldwide research trends. **Sustainability**, v. 11, n. 3, p. 863, 2019.

PICCHIO, R. *et al.* Pellet production from woody and non-woody feedstocks: a review on biomass quality evaluation. **Energies**, v. 13, p. 2937, 2020.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne**, v. 23, p. 1-10, 2017.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Babassu nut residues: potential for bioenergy use in the North and Northeast of Brazil. **SpringerPlus**, v. 3, p. 1-14, 2014a.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Quality and energetic evaluation of the charcoal made of babassu nut residues used in the steel industry. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.5, p.435-444, 2014b.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Mass and energy balance of the carbonization of babassu nutshell as affected by temperature. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n.3, p. 189-196, 2014c.

RAINA, N. *et al.* Opportunities and challenges in

the production of biofuels from waste biomass. In: ONG, H. C.; FATTAH, I. M. R.; MAHLIA, T. M. I. (ed.). **Waste valorization for bioenergy and bioproducts**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2024. Cap. 2, p. 23-4

RAJVANSHI, M.; PODILI, R.; DWIVEDI, V.; SANYAL, D.; DASGUPTA, S. Waste biomass to bioenergy: a compressive review. In: KUHAD, R. C.; SINGH, A.; SANI, R. K. (ed.). **Biotechnology for sustainable environment**. Boca Raton: CRC Press, Cap. 1, p. 1-20, 2022.

RESQUIN, F. *et al.* Influence of contrasting stocking densities on the dynamics of above-ground biomass and wood density of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunni*, and *Eucalyptus grandis* for bioenergy in Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 63-74, 2019.

REIS, A. R. S. *et al.* Comparação entre carvão de coco babaçu e carvão de resíduos madeireiros comercializados em Altamira-PA. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, p. 100-106, 2015.

ROCHA, M. M. **Contribuições para estudos sobre a disponibilidade energética a partir de fontes solar fotovoltaica e biomassa no Sul do Maranhão**. 2022. Monografia (Curso Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2022.

ROTHER, A. *et al.* Current and potential use of forest biomass for energy in Tasmania. **Biomass and Bioenergy**, v. 80, p. 162-172, 2015.

SAIDU, M. M. *et al.* Potentials of organic waste to provide bioenergy. In: Microbial Biotechnology for Bioenergy. **Elsevier**, p. 179-218, 2024.

SALEEM, M. Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. **Heliyon**, v. 8, p. e08905, 2022.

SAMPATHKUMAR, V. *et al.* Study of biomass fuel production from different waste residues: A review. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 68, n. 2, 97-106, 2020.

SANTANA, D. A. R. *et al.* Pelletizing of lignocellulosic wastes as an environmentally friendly solution for the energy supply: insights on the properties of pellets from Brazilian biomasses. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 11598-11617, 2021.

SANTOS, G. H. F. *et al.* Biomass as sustainable energy in Brazil. **Revista UNINGA**, v. 29, n. 2, p. 6-13, 2017.

SONG, Y. *et al.* Regulation of energy properties and thermal behavior of bio-coal from lignocellulosic biomass using torrefaction. **Energy**, v. 289, p. 1-9, 2024.

SOUSA, E. C. *et al.* Produção de lavouras selecionadas de sequeiro nas regiões climáticas definidas para o estado do Maranhão, Brasil. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 12, p. 16849-16872, 2023.

SRIVASTAVA, A. P.; PANDEY, B. Biomass Energy: A Crucial Component in the Renewable Energy Mix. **International Journal For Science Technology And**



Engineering, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 1512–1515, 2024.

TALANOA. **NDC brasileira com metas corrigidas para 2025 e 2030**. Nota Técnica 4. Série “NDC brasileira”. Rio de Janeiro, Brasil, 2023. Disponível em: <institutotalanoa.org/documentos>. Acessado em: 28 de outubro de 2024.

TARAN, M. *et al.* Utilization pattern of fuelwood plants by the Halam community of Tripura, Northeast Índia. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 38, n. 17, p. 2545-2552, 2016.

TEIXEIRA, T. R. *et al.* Forest biomass power plant installation scenarios. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, p. 35-47, 2018.

Teixeira, MA. Babassu – a new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass Bioenergy**, v. 32, n. 9, p. 857–864, 2008.

TRUGILHO, P. F. *et al.* Combustão e carbonização da biomassa lignocelulósica. In: GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; ANDRADE, W. S. P. (Org.). **Engenharia madeireira: pesquisa e produção**. Seropédica, RJ: Ed. da UFRRJ, 2017. p. 151-174.

UDDIN, M. N. *et al.* Sustainable biomass as an alternative energy source: Bangladesh perspective. **Energy Procedia**, v. 160, p. 648-654, fev. 2019.

VAN DEN BROEK, R. *et al.* Potentials for electricity production from wood in Ireland. **Energy**, v. 26, p. 991-1013, 2001



VOĆA, N. *et al.* Proximate, ultimate, and energy values analysis of plum biomass by- products case study: Croatia's potential. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 18, p. 1655-1666, 2016.

WELFLE, A. Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 83-95, 2017.

ZAGARIA, L. *et al.* The role of biomass in energy transition to net zero carbon emissions due to climate change: the Apulia case. **Journal of physics**, v. 2648, n. 1, p. 012013, 2023.

Uso de matérias-primas alternativas de coprodutos agroindustriais e digestibilidade aparente em peixes: revisão

Use of alternative raw materials from agro-industrial by-products and apparent digestibility in fish: Review

Jéssica Antonia Cardoso Mendes¹
Thallynson Emanuel Francelino da Silva²
Pedro Lucas Oliveira Rocha³
Diego Amorim dos Santos⁴
Diego Carvalho Viana⁴

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



¹ Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís-MA, Brasil. Email: Jessica.cardoso.zootec@gmail.com

² Graduando em Zootecnia na Universidade Federal do Maranhão, Campus Chapadinha, Maranhão, Brasil.

³ Mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão (PPGCA/UFMA)

⁴ Professor na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Brazil.

Resumo: O aumento da população mundial, juntamente com a crescente demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis resultou em uma busca constante por subprodutos agrícolas. A avaliação do uso de matérias-primas agroindustriais na alimentação aquícola é fundamental para o desenvolvimento de dietas mais sustentáveis, econômicas e eficientes. A aquicultura, como setor em crescimento, enfrenta desafios relacionados ao alto custo das rações comerciais, especialmente devido à dependência de ingredientes tradicionais, como a farinha de peixe e o farelo de soja. Nesse contexto, as matérias-primas agroindustriais surgem como alternativas viáveis, para reduzir custos e diversificar as fontes nutricionais na alimentação dos peixes impulsionando o crescimento da indústria aquícola. Desta forma, objetivou-se com esta revisão fornecer uma compreensão abrangente e atualizada sobre os métodos, desafios e avanços na área de pesquisa utilizando dietas com a inclusão de matérias-primas alternativas de coprodutos agroindustriais e, a digestibilidade em peixes alimentados com estas dietas.

Palavras Chaves: Aquicultura; Desempenho; Saúde Animal; Sustentabilidade.

Abstract: The increase in the world population, together with the growing demand for healthy and sustainable food, has resulted in a constant search for agricultural by-products. The evaluation of the use of agro-industrial raw materials in aquaculture feed is essential for the development of more sustainable, economical and efficient diets. Aquaculture, as

a growing sector, faces challenges related to the high cost of commercial feeds, especially due to the dependence on traditional ingredients such as fishmeal and soybean meal. In this context, agro-industrial raw materials emerge as viable alternatives to reduce costs and diversify nutritional sources in fish feed; driving the growth of the aquaculture industry. Thus, the objective of this review was to provide a comprehensive and updated understanding of the methods, challenges and advances in the research area using diets with the inclusion of alternative raw materials from agro-industrial by-products and the digestibility in fish fed with these diets.

Keywords: Aquaculture; Performance; Animal Health; Sustainability.

1. Introdução e Contexto

O setor aquícola é um dos setores de produção de alimentos que mais cresce no mundo, fornecendo aproximadamente 50% de todo o pescado utilizado na alimentação humano. Segundo a FAO (2020), espera-se que até 2030, o consumo aumente 22%. Os pescados e outros animais aquáticos forneceram cerca de 20% da proteína animal, chegando a mais de 50% em vários países da Ásia e da África.

Nos próximos anos, o crescimento da aquicultura exigirá, portanto, o desenvolvimento de tecnologias e práticas baseadas em uma abordagem responsável e sustentável, alinhada com as estratégias da Transformação Azul, ou seja, projetar um sistema alimentar que proporcione melhora na saúde dos animais aliado à economia e

à sustentabilidade ambiental (FAO, 2022).

A demanda cada vez maior de alimentos e rações, juntamente com enormes quantidades de perdas, desperdícios e descartes da cadeia de suprimentos agrícola e alimentar, causaram inúmeros desafios socioeconômicos e de sustentabilidade. Assim, o uso de matérias-primas alternativas como os coprodutos agroindustriais e de resíduos das cadeias de abastecimento alimentar podem ser uma alternativa promissora.

As matérias-primas alternativas de coprodutos agroindustriais são os subprodutos secundários criados ao lado dos produtos primários, para uso e consumo humano. Esta tecnologia tem sido considerada uma solução viável, para aumentar a eficiência do uso de recursos, por apresentar ampla disponibilidade, custo relativamente baixo (Shurson, 2020), reduzir a competição entre alimentação humana e ração animal, além de ser sustentável (Sandström *et al.*, 2022).

Assim, reduz-se a dependência de ingredientes tradicionais à base de grãos e oleaginosas e os impactos ambientais subsequentes, atraindo grande atenção e sendo aplicado em diferentes partes do mundo, para reduzir o custo da produção pecuária, reduzir o desperdício de nutrientes da agricultura, e mitigar o impacto ambiental (Dou *et al.*, 2018; Pinotti *et al.*, 2023; Shurson, 2020).

Além disso, as matérias-primas alternativas de coprodutos agroindustriais podem possuir compostos bioativos com propriedades promotoras de saúde, como: capacidade antioxidantes, anti-inflamatória, anti-microbiana, vitaminas, minerais e fitoquímicos (licopeno, carotenoides e L-citrulina) (Yao *et al.*,

2021).

Todavia, apesar das vantagens, pode haver limitações na utilização dessas matérias-primas na alimentação de animais monogástricos, como: baixo valor nutricional, variação na composição físico-química (Sau *et al.* 2024), presença de fatores antinutricionais ou alta quantidade de fibra. Essas limitações devem ser superadas para melhorar o valor nutricional, segurança e uso na alimentação animal (Pinotti *et al.*, 2016; Salemdeeb *et al.*, 2017; Shurson, 2020). Para isso, o uso destes devem ser avaliados através dos ensaios de desempenho e digestibilidade.

Avaliar a digestibilidade de subprodutos agroindustriais na alimentação de monogástricos é essencial, para garantir o aproveitamento máximo dos nutrientes e otimizar o ganho de peso dos animais. Nem todos os subprodutos possuem a mesma biodisponibilidade de proteínas, lipídios e carboidratos tornando necessário conhecer sua digestibilidade, para formular dietas eficientes. Dessa forma, é possível selecionar ingredientes, que oferecem melhor aproveitamento nutricional e contribuem para o crescimento adequado dos animais.

Desta forma, nesta revisão de literatura objetivou-se fornecer uma compreensão abrangente e atualizada sobre os métodos, desafios e avanços na área de pesquisa utilizando dietas com a inclusão de matérias-primas alternativas de coprodutos agroindustriais e resíduos alimentares e, a digestibilidade em peixes alimentados com estas dietas.

2. Metodologia

O presente estudo propôs a confecção de uma Revisão de Literatura com abordagem narrativa e descritiva, segundo metodologia descrita por Santos, Seccoli e Puschel (2023), com o objetivo de investigar métodos de avaliação de digestibilidade em peixes, bem como desafios e avanços na área de pesquisa utilizando dietas com a inclusão de matérias-primas alternativas, oriundas de coprodutos agroindustriais, destacando os achados mais relevantes.

A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, abrangendo publicações científicas em idioma inglês, entre os anos de 2018 a 2024, utilizando as seguintes palavras-chave: “digestibilidade”, “peixes”, “avaliação de digestibilidade”, “nutrição de peixes”, “matérias-primas alternativas”, “resíduos alimentares”, “coprodutos agrícolas”, “aquicultura”.

Os critérios de inclusão foram: (i) o desenho do estudo experimental, (ii) benefícios para a saúde dos peixes, (iii) benefícios para o desempenho zootécnico e digestibilidade, (iv) aplicação de resíduos agroindustriais na dieta de peixes, (v) uso de outros resíduos agroindustriais na aquicultura, (vi) ensaios de digestibilidade com peixes. Em contraste, os estudos foram incluídos caso figurassem em editoriais, pesquisas curtas, resenhas, patentes e resumos de conferências.

Estudos selecionados abordaram métodos experimentais, aplicados à digestibilidade em peixes, publicados em periódicos revisados por pares. A triagem foi realizada por dois revisores de forma independente, com divergências resolvidas por

consenso. Os dados coletados incluíram a espécie de peixe, o método de digestibilidade (marcadores internos/externos), e as condições de experimento. A síntese dos dados foi feita de forma qualitativa, agrupando os estudos conforme os métodos utilizados e os achados principais.

Assim, foram selecionados artigos que descrevem as metodologias usadas nos ensaios de digestibilidade, com foque em trabalhos com resíduos agroindustriais em rações de peixes onívoros, em substituição a alimentos proteicos ou energéticos.

3. Resultados e Impactos Alcançados

Em estudo de nutrição, os ensaios de digestibilidade são métodos experimentais utilizados para determinar a eficiência com que um animal aproveita os nutrientes de um alimento ingerido, com o objetivo de determinar o valor nutricional de um alimento (Silva *et al.*; Rodrigues, 1994). Desta forma, para a utilização de resíduos agroindustriais em dietas balanceadas, para peixes é necessário realizar o ensaio de digestibilidade, para isto é essencial conhecer a composição físico-química das rações, para posteriormente avaliação da digestibilidade dos nutrientes.

Existem vários métodos para coleta de fezes em estudos de nutrição com peixes, esses métodos foram desenvolvidos, principalmente, para contornar situações tais como: o estresse dos animais pelo manuseio nos métodos de pressão abdominal, sucção anal, contenção em câmara metabólica ou alimentação forçada, o sacrifício dos animais

do método de dissecação intestinal e a lixiviação de nutrientes e de energia, principalmente das fezes (Sallum, 2000).

Durante os ensaios de digestibilidade, após o consumo das rações, as fezes excretadas são analisadas para calcular a quantidade de nutrientes absorvidos pelo sistema digestivo do animal (Rodrigues, 1994). Esses ensaios são fundamentais para entender como diferentes ingredientes das rações afetam o processo digestivo, a absorção dos nutrientes e, consequentemente, o desenvolvimento e a saúde dos animais.

Assim, a avaliação dos excrementos dos peixes fornece informações sobre a biodisponibilidade de nutrientes como proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e minerais, que são essenciais para a formulação de dietas equilibradas e otimizadas para a produção animal.

Desta forma, os ensaios de digestibilidade permitem avaliar a qualidade nutricional dos alimentos, a sustentabilidade e a eficiência econômica na produção animal. Por conseguinte, a partir dos resultados dos ensaios é possível escolher os ingredientes da ração, que maximizam a absorção de nutrientes e reduzem o desperdício, minimizando os custos e o impacto ambiental.

Em relação a viabilidade econômica, uma ração mais digestível significa que menos nutrientes são excretados no meio ambiente, isso contribui para a redução da quantidade de alimento ou ração consumido pelo animal, pois há melhorias na conversão alimentar. A ausência de dados a respeito da digestibilidade dos ingredientes tem sido um grande problema na fabricação dessas dietas.



3.1 Planejamento de ensaio de digestibilidade aparente em peixes

Atualmente, os ensaios de digestibilidade podem ser realizados de três formas, através da coleta de fezes direta e indireta. No método direto a coleta consiste na sifonagem do fundo do tanque ou por extração pós-sacrifício. Já nos métodos indiretos utilizam sistemas de coleta sem interferência direta no animal. São eles: 1. Marcadores externos e internos, através da utilização de marcadores como o óxido de cromo (Cr_2O_3) e o óxido de ítrio (Y_2O_3), para rastrear a digestibilidade dos alimentos. Os marcadores são misturados na dieta junto com os outros ingredientes, posteriormente as rações são analisadas por meio de cromatografia ou espectrofotometria. 2. Métodos enzimáticos, estudos que avaliam a digestibilidade por meio de enzimas digestivas dos peixes, identificando a eficiência na quebra de componentes alimentares e, 3. Métodos in vitro, através da simulação de processos digestivos em condições laboratoriais para prever a digestibilidade de resíduos alimentares.

O método indireto de coleta de fezes é composto por um aquário cilíndrico de fibra de vidro com o fundo cônico, no qual as fezes que decantam no aquário e, são conduzidas por tubulações externas, onde são depositadas em tubos acoplados na extremidade inferior (Sakomura e Rostagno, 2007). No método indireto utiliza-se um marcador, um indicador fecal, usado como marcador externo inerte, que é incluso na dieta nas concentrações de 0,5 a 1,0 %, que depois é avaliado nas fezes. O marcador mais usado é o óxido de cromo (Cr_2O_3),

mas outros marcadores também podem ser utilizados (NRC, 1993), outro marcador muito utilizado é o Y_2O_3 na proporção de 0,01- 0,02%/Kg (Ai Jo *et al.* 2019; Tibbetts *et al.* 2020; Nascimento *et al.* 2023; Sandbakken *et al.* 2023). Porém, o Cr_2O_3 ainda é o marcador mais aceito, por ser completamente indigestível e inabsorvível, não exercendo efeito farmacológico sobre o sistema digestório e passando uniformemente por ele (Austreng, 1978; Kane *et al.*, 1979; Ringo, 1993).

A determinação da percentagem de Cr_2O_3 nas fezes dos peixes permite estimar o coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes metabolizados individualmente, comparando-o com a porcentagem deste óxido inicialmente misturado à ração (La Noue, 1986). Para esses ensaios a determinação da composição químico-bromatológica e da percentagem de Cr_2O_3 da ração é imprescindível, para estimar o coeficiente de digestibilidade dos nutrientes metabolizados pelo animal (matéria seca, proteína, lipídios, energia e ácidos graxos) (Shahat, 1993).

No método indireto, tanques especialmente projetados, como descrito em Tibbetts *et al.*, (2006), tanques cilíndricos cônicos, geralmente com capacidade para 250 L de água (Figura 1) são usados para coleta passiva de material fecal dos peixes que consomem voluntariamente as dietas experimentais.



Figura 1. Tanques cilíndricos cônicos com capacidade para 250L de água, com recirculação de água. Fonte: Jéssica Antonia Cardoso Mendes (2024)

Para a formulação das dietas usa-se uma dieta convencional (Tratamento Controle) e uma ou mais dietas experimentais. Nestas dietas inclui-se 30 % do alimento teste de forma a deixar a dieta balanceada, por exemplo, inclusão de 30% de pó foliar desidratado do abacaxi ou pó da casca da melancia (Dieta Teste).

As medidas de digestibilidade são feitas usando peixes, de preferência juvenis (peso médio

de 20 a 30 g/peixe) obtidos de incubatório comercial legalizados, animais saudáveis. Antes de iniciar o experimento, faz-se testes de sobrevivência com peixes menores. Caso esteja tudo bem, o sistema esteja estabilizado, os parâmetros de água adequados, pode-se iniciar o período de adaptação dos peixes que serão utilizados no ensaio de digestibilidade. Nestes tanques são indicados colocar até 5 peixes juvenis, com peso médio e tamanho homogêneo, a fim de evitar-se ocorrência de brigas, lesões e morte.

Antes de iniciar o ensaio para a coleta das fezes, os peixes são gradualmente desmamados da ração comercial para suas respectivas dietas experimentais, estas devem ser extrusadas, possuir 3,0 mm. O período de adaptação da dieta dura em média 7 dias, a partir de então, serão alimentados manualmente até a saciedade voluntária aparente quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 13:00 e 15:00 h ou 08:00, 12:00, 14:00 e 16:00 h), portanto, a alimentação é apenas diurna.

Uma vez que todos os peixes estiverem totalmente aclimatados às suas respectivas dietas experimentais e manejo, em densidade de 5 peixes por incubadora de 220 L de água com aeração superficial constante, os peixes são alimentados por mais 4 dias antes de iniciar a coleta da amostragem, totalizando 11 dias de pré-coleta. As amostras fecais são coletadas diariamente das 18:00 h às 6:00 h da manhã.

A coleta é realizada diariamente, o período de coleta depende do volume de fezes produzidas, portanto, pode-se estabelecer a coleta de no mínimo de 20 g de fezes pré-secas por tratamento. Assim, a cada coleta das fezes preservadas em gelo (figura

2A), pesa-se as ainda frescas, para isto coloca-se as fezes em um pano, coando-se as fezes ou torcendo-se o pano (figura 2 B) para retirar a maior quantidade de água; o processo de torcer o pano com as fezes dentro depende do volume de vezes coletadas. Após a pesagem das fezes, coloca-se as bandejas em estufa a 55° C por 36 h. De preferência usar bandeja de alumínio no processo de desidratação em estufa (Figura 2 C).



Figura 2. A: Coleta das fezes em garrafa pet conservadas em caixa de isopor com gelo. B: Processo de coar as fezes para retirar o excesso de umidade. C: Preparo das fezes em bandeja de alumínio etiquetadas para secar em estufa.

Os tanques são verificados diariamente em busca de peixes mortos ou moribundos. Durante todo o período experimental, as bordas dos tanques devem ser limpas e a água deve ser drenada em 50% para reposição de água limpa. Portanto, todos os dias, após a alimentação final as 15 ou 16 h, os tanques

e colunas de coleta fecal são cuidadosamente limpos com uma escova para remover material e partículas residuais (fezes e ração não consumidas). Posteriormente os registros das incubadoras serão abertos e os coletores de fezes acoplados às incubadoras. Para evitar fermentação das fezes, os coletores precisam ficar dentro de caixas de isopor com gelo, como pode ser observado na figura 2A.

A coleta das amostras fecais pode ser feita durante o período noturno de 2 em 2 h ou podem ser coletadas todas as manhãs às 06:00 h (~14 h após a alimentação final). Para a coleta pode-se utilizar tubos plásticos de fundo cônico de 50 ml, centrifugadas (4000 rpm [2560 $\times$ g] por 20 min a 4 °C) e o sobrenadante cuidadosamente decantado e descartado e, cada amostra armazenada em um recipiente selado a -20 °C durante todo o período de coleta. Caso não haja centrífuga, pode-se coletar as fezes em garrafas pet e, retirar da garrafa coletora todo o excesso de água e, as fezes devem ser transferidas para um recipiente de alumínio ou placas de petri e transferidos para uma estufa de ventilação forçada a 55°C por 36-72 h.

Posteriormente, as amostras fecais devem ser moídas e, se possível, liofilizadas por 72 h à baixa temperatura de prateleira (≤ 5 °C), até um teor de umidade final de <4%. Caso não seja possível a liofilização das amostras, estas devem ser moídas, etiquetadas e armazenadas em freezer.

3.2 Técnicas analíticas

Dietas experimentais e amostras fecais, pré-secas ou liofilizadas, serão analisadas avaliando-se



os teores de umidade, cinzas, proteína total, extrato etéreo, energia bruta, ácidos graxos saturados (AGS), marcador utilizado, entre outros. A umidade é determinada gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 16 h e as cinzas por incineração em mufla a 550 °C por 18 h ou a 600 °C por 4 h. Os teores de nitrogênio (N) são determinados por análise elementar (forno de 950 °C) utilizando um analisador Leco N (modelo FP-528, Leco Corporation, St. Joseph, MI) com oxigênio de altíssima pureza como gás de combustão e hélio de altíssima pureza como gás carreador e teor de proteína bruta calculado como $N \times 6,25$.

Os lipídios são extraídos por transesterificação *in situ* de HCl metanólico (McGinn *et al.*, 2012) e os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) correspondentes são separados e quantificados por GC-FID (coluna Omegawax 250, Agilent 7890). Os teores de energia bruta (MJ/kg) foram medidos usando um calorímetro de bomba de oxigênio isoperibol (modelo 6200, Parr Instrument Company, Moline, IL) equipado com um sistema de manuseio de água Parr 6510 para operação em circuito fechado.

Os AGs individuais, juntamente com um padrão interno (C19:0; nonadecanoato de metila, Fluka), serão identificados comparando-se os tempos de retenção com duas misturas de referência de AG (Supelco 37 e PUFA No. 3, Sigma-Aldrich). Critérios de qualidade lipídica, concentrações de metais pesados contaminantes e, parâmetros higiênicos microbianos do óleo de *Schizochytrium* sp. (T18) serão avaliados como valor de peróxido (método AOAC 965.33), valor de p-anisidina (método AOCS Cd 18-90), conteúdo de ácidos graxos livres (AOCS

Ca 5a-40) e contagem de placas de bacteriologia de laboratório padrão.

As concentrações de óxido crômico ou de outro marcador são determinadas por espectrofotometria de absorção atômica com chama (modelo iCE 3000 Series AA, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA), após digestão com ácido fosfórico e brometo de potássio (Williams *et al.*, 1962). Recomenda-se conduzir todo o trabalho analítico em triplicata.

3.3 Cálculos e métodos estatísticos

Utilizando o óxido de cromo, a digestibilidade aparente segundo NOSE (1966), é estimada através da seguinte equação:

$$CDA = 100 - \left[100 \cdot \left(\frac{\%I_r}{\%I_f} \right) \cdot \left(\frac{\%N_f}{\%N_r} \right) \right]$$

Em que: CDA = coeficiente de digestibilidade aparente (%); %I_r e %I_f = % Indicador na dieta e nas fezes, respectivamente; %N_f e %N_r = % de nutriente nas fezes e na dieta, respectivamente.

E de acordo com a equação (NRC, 2011):

CDA % = 100 - 100 (Óxido crômico na dieta / % Óxido crômico nas fezes)

Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. As análises estatísticas são realizadas por meio da análise de variância, ANOVA com nível

de probabilidade de 5% ($P < .05$). Nos casos em que diferenças significativas são observadas, indica que as médias dos tratamentos foram diferenciadas por meio de comparações pareadas pelo teste de estatístico utilizado. As correlações entre as variáveis respostas podem ser calculadas pela análise de correlação de Pearson (r) utilizando por exemplo o SigmaStat® v.3.5. A normalidade dos dados brutos deve ser verificada, caso utilize o SigmaStat® v.3.5, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Segundo Pezzato *et al.* (2004), o conhecimento da digestibilidade dos subprodutos agroindustrial tem viabilizado a utilização de diversos alimentos em rações completas para peixe. Estudos demonstram que alimentos com composições químicas semelhantes podem apresentar diferenças, na avaliação do coeficiente de digestibilidade.

É necessário primeiramente pesquisar as informações nutricionais dos alimentos (composição química, energia, digestibilidade, restrições, fatores antinutricionais, etc.), para que sejam incluídos nos bancos de dados e formular rações comerciais de mínimo custo com estes ingredientes (Rostagno *et al.*, 2008). Resultados de estudos usando matérias-primas agroindustriais são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Determinação de coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de coprodutos na alimentação de peixes

Autores	Objetivos	Resultados	Conclusão
Boscolo <i>et al.</i> , (2008)	Determinar os CDA da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), energia bruta (EB) e a disponibilidade dos aminoácidos (AA), fósforo (P) e cálcio (Ca) da farinha de resíduos da indústria de filetagem de	A FT apresenta CDA médio dos AA de 91,60% com CDA variando de 67,90% para a Fenilalanina até 100% para a Arginina e a Cisteína. O CDA do P foi de 70,44% apresentando 1,94% de P disponível, o CDA do	A FT é um alimento proteico com bons índices de disponibilidade aparente de seus nutrientes e pode ser utilizado na alimentação de tilápias com a aplicação destes índices visando formular rações de custo

	de tilápias (FT) para a tilápia do Nilo.	Ca da FT foi de 51,10% apresentando 4,02% de Ca disponível.	mínimo que atendam às exigências da espécie.
Costa et al., (2009)	Determinar a composição nutricional e a digestibilidade da energia e proteína em tilápias adultas de quatro resíduos: de uva (RU), resíduo de abacaxi (RA), resíduo de mangaba (RMG) e resíduo de manga (RM). A metodologia utilizada foi pelo método de indicador (0,1% de Cr ₂ O ₃).	O ingrediente com maior teor de fibra e energia bruta foi o resíduo de mangaba com respectivamente 42,68% e 6.426,0 kcal/kg e o menor foi o resíduo de abacaxi com 10,93% e 3.439,5 kcal/kg.	Os melhores valores do CDA da PB foram dos resíduos de abacaxi e manga com 78,12% e 78,59% respectivamente e para a energia digestível, o melhor CDA foi do resíduo de uva com 3.972,07 kcal/kg e o menor foi o resíduo de manga com 1.497,27 kcal/kg.
Nazzaro et al., (2021).	Avaliar o efeito da substituição da farinha de peixe por subprodutos da indústria cervejeira, levedura e grãos usados, incluídos em dietas isoprotéicas (41% PB) e isolipídicas (22% L) para <u>dourada</u> (<i>Sparus aurata</i>) e truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	Os CDA destes subprodutos no caso da truta arco-íris variaram entre 75 e 88%, enquanto para a <u>dourada</u> se situaram entre 71 e 88%. A inclusão de 20-30% de levedura e grãos de cerveja na ração para peixes carnívoros, truta arco-íris ou dourada apresentou resultados semelhantes a uma ração com farinha de peixe como principal fonte de proteína e mostrou boa digestibilidade de proteínas, <u>lipídios</u> e <u>aminoácidos</u> .	Incluir de 20-30% de destes resíduos tratados enzimaticamente em dietas para truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) não afetou a digestibilidade da proteína, o crescimento e a eficiência alimentar.

Campos et al., 2018	Avaliar os CDA de subprodutos agroalimentares processados em dietas de robalo (<i>Dicentrarchus labrax</i>).	Substituiu-se 30% da ração referência (REF) por um ingrediente teste: gérmen de trigo (GERM), farelo de okara (OKA), farinha de subproduto de aves (POULT), hidrolisado a vapor (FeHY) e farinha de penas tratada com enzima (FeENZ), beta-lactoglobulina (β -Lg) e frações peptídicas >3.000 Da obtidas de levedura de cerveja (YeastP) e subprodutos de peixe (FishP).	Os CDA de proteína foram altos em β -Lg, FishP, GERM e POULT (>93%); intermediário em FeHY e FeENZ (85%–88%); e moderado em OKA e YeastP (70%–78%). A média de CDA dos aminoácidos essenciais foi superior a 91% em POULT, β -Lg, GERM e FishP, 84%–89% em FeHY e FeENZ e 73%–76% em YeastP e OKA. O CDA de energia foi maior em POULT e β -Lg (89% a 95%) e menor em YeastP e OKA (61% a 64%). O CDA de lipídios foi maior para POULT e GERM (100%). O ADC de fósforo foi menor em GERM (19%) e maior em β -Lg (88%). Assim, recomenda-se o uso de FeHY, FeENZ, POULT, GERM, FishP e β -Lg como fontes proteicas para o robalo europeu.
Couto et al., (2016)	Avaliar o desempenho, a digestibilidade dos nutrientes, resposta glicêmica e na morfologia no intestino distal de juvenis de dourada alimentados com dietas contendo 30% de diferentes farelos de cereais (trigo, milho, centeio e cevada). O nível de inclusão de farelo de cereais foi fixado em	A dourada apresentou maior desempenho quando alimentada com a dieta de trigo em comparação à dieta de centeio. O consumo de ração foi maior com a dieta à base de milho, enquanto a <u>eficiência alimentar</u> (EFA) e a <u>razão de eficiência proteica</u> (REP) foram maiores com as dietas de trigo e cevada do que com as dietas de milho e centeio. A	O trigo e a cevada foram os cereais mais adequados, dentre os testados, para incorporar nas dietas juvenis de dourada. No entanto, deve-se ter cuidado ao combinar vários alimentos, pois as interações podem ter efeitos deletérios nos peixes.

30% para evitar exceder 20% de amido dietético nas dietas, conforme recomendado por Wilson (1994) para espécies carnívoras.	composição de carcaça não foi afetada pela composição da dieta. Os índices hepatossomáticos e viscerais foram menores nos peixes alimentados com a dieta de cevada. O conteúdo de glicogênio hepático também foi menor nos peixes alimentados com a dieta de cevada do que com a dieta de trigo, enquanto o teor de lipídios no fígado foi maior nos peixes alimentados com cevada do que com a dieta de centeio. O CDA do amido de milho e <u>cevada</u> foi menor do que o do amido de trigo e centeio. A morfologia intestinal foi semelhante em todos os grupos.
--	---

Fonte: Autores (2025)

Diante da possibilidade da utilização de diversos alimentos alternativos, o conhecimento do coeficiente de digestibilidade dos alimentos e dos nutrientes permite a formulação de rações, que melhor atendam às exigências nutricionais evitando-se a sobrecarga fisiológica e, a ambiental (Pezzato, 2009) permitindo dessa forma, cada vez mais, a aproximação do ótimo biológico ao ótimo econômico.

Considerações Finais

Os esforços para avaliar a inclusão de matérias-primas agroindustriais na alimentação animal têm ganhado destaque devido à necessidade de reduzir custos, promover a sustentabilidade e, melhorar a eficiência nutricional das dietas. A agroindústria gera uma grande quantidade de subprodutos e coprodutos que, se corretamente processados e avaliados, podem se tornar alternativas viáveis para substituir ingredientes tradicionais, como o milho e a soja, na formulação de rações. Fatores como a presença de fibras, substâncias antinutricionais e variabilidade química devem ser analisados para determinar a viabilidade de inclusão desses ingredientes em níveis que maximizem o aproveitamento, sem comprometer a saúde e o crescimento dos animais.

Novas estratégias e inovações são necessárias, para aumentar a capacidade de reciclar nutrientes por meio da produção agrícola e de alimentos e gerar uma baixa pegada de carbono, onde essas novas estratégias de bioprocessamento podem ser incorporadas à ração animal e, reduzir significativamente o custo da produção animal. As inovações tecnológicas, como: a fermentação em estado sólido (FES), hidrólise enzimática e tratamentos térmicos, são frequentemente aplicadas para melhorar a digestibilidade e a biodisponibilidade dos nutrientes presentes nesses subprodutos. Essas técnicas ajudam a tornar os ingredientes mais palatáveis, reduzindo fatores antinutricionais e aumentando sua eficiência na conversão alimentar.

Outro ponto importante é a sustentabilidade

ambiental. A inclusão de matérias-primas agroindustriais na alimentação animal contribui para a redução do desperdício de resíduos agroindustriais, diminuindo o impacto ambiental e promovendo uma economia circular. Além disso, ao reduzir a dependência de insumos agrícolas tradicionais, esses esforços podem mitigar os efeitos da volatilidade de preços no setor agropecuário.

Referências

AI JIE MO; SOL J. X.; WANG Y. H.; YANG, K.; YANG E. S. Apparent digestibility of protein, energy and amino acids in nine protein sources at two levels of *Siniperca chuatsi* mandarin. **Aquiculture**, v. 499, p. 42-50, 2019.

ARUNA, T.E.; AWORH, O.C.; RAJI, A.O.; OLAGUNJU, A.I. Protein enrichment of yam peels by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* (BY4743). **Annals of Agriculture Science**, v. 62, n.1, pp. 33-37, 2021

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; FEIDEN, A.; MEURER, F.; SIGNOR, A. A. Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, v. 38, n.9, 2008.

CAMPOS, I.; MATOS, E.; ARAGÃO, C.; PINTADO, M.; VALENTE, L.M.P. Coeficientes de digestibilidade aparente de subprodutos agroalimentares processados em juvenis de robalo-europeu (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, pp. 1274-1286, 2018.

CAPANOGLU, E.; NEMLI, E.; TOMAS-BARBERAN, F. Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. **Journal of Agriculture Food Chemistry.**, v. 70, n. 23, pp. 6787-6804, 2022.

CHO, C.Y., COWEY, C.B., WATANABE, T. “**Nutrition and Feeding of Fish.**” Springer, 1985.

COUTO, A.; PERES, H.; OLIVA-TELES, A.; ENES, P. Screening of nutrient digestibility, glycaemic response and gut morphology alterations in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed whole cereal meals. **Aquaculture**, v. 450, p. 31-37, 2016, ISSN 0044-8486. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.07.006>.

CROAT, J.R.; BERHOW, M.; KARKI, B.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; GIBBONS, W.R. Conversion of canola meal into a high-protein feed additive via solid-state fungal incubation process. **Journal of the American Oil Chemistry Society.**, v. 93, n. 4, pp. 499-507, 2016

DE SILVA, S.S., ANDERSON, T.A. “**Fish Nutrition in Aquaculture.**” Chapman & Hall, 1995.

DOU, Z.; TOTH, J.D.; WESTENDORF, M.L. Food waste for livestock feeding: Feasibility, safety, and sustainability implications. **Global Food Security.**, v. 17, pp. 154-161, 2018.

FAN, W.; SOL, X.; CUI, G.; LI, Q.; XU, Y. WANG, L.; LI, X.; HU, B.; CHI, Z. Estratégia de co-fermentação de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) e matérias-primas lignocelulósicas como ração para suínos.

Critica Reviews in Biotechnology, pp. 1-15, 2022.

FAO. **O Estado Mundial da Pesca e Aquicultura** 2022. Rumo à Transformação Azul FAO, Roma (2022), 10.4060/cc0461pt

JIANG, K.; TANG, B.; WANG, Q.; XU, Z.; SUN, L.; MA, J.; LI, S.; XU, H.; LEI, P. The bio-processing of soybean dregs by solid state fermentation using a poly γ -glutamic acid producing strain and its effect as feed additive. **Bioresource Technology**., 291, Article 121841, 2019

NASCIMENTO A. A.; MACÊDO E. S.; GONÇALVES, G. S.; CRUZ, T. P.; WERNICK, B.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Xylanase and b-glucanase together improve performance, digestive enzyme activity and digestibility in juvenile Nile tilapia fed dry grains from corn distillers with an added soluble diet. **Animal Feed Science and Technology**, v. 306, 2023.

NAZZARO, J.; MARTINHO, D.S.; PEREZ-VENDRELL, A. M.; PADRELL, L.; IÑARRA, B.; ORIVE, M.; ESTÉVEZ, A. Apparent digestibility coefficients of brewing by-products used in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bream (*Sparus aurata*). **Aquiculture**, v. 530, 2021, 10.1016/j.aquaculture.2020.735796

NRC (National Research Council). **"Nutrient Requirements of Fish and Shrimp."** The National Academies Press, 2011.

NOVELLI, P. K.; BARROS, M. M.; PEZZATO, L. E.; ARAUJO, E. P. DE; BOTELHO, R. DE M.; FLEURI, L. F. Enzymes produced by agro-industrial co-products enhance

digestible values for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): A significant animal feeding alternative. **Aquaculture**, v. 481, p. 1-7, ISSN 0044-8486. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.010>.

PINOTTI, L.; FERRARI, L.; FUMAGALLI, F.; LUCIANO, A.; MANONI, M.; MAZZOLENI, S.; GOVONI, C.; RULLI, M.C.; LIN, P.; BEE, G.; TRETOLA, M. Review: Pig-based bioconversion: the use of former food products to keep nutrients in the food chain. **Animal**, v. 17, Article 100918, 2023.

PINOTTI, L.; OTTOBONI, M.; GIROMINI, C.; DELL'ORTO, V.; CHELI, F. Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: a focus on cereal byproducts. **Toxins**, v. 8, n. 2, p. 45, 2016.

SALEMDEEB, R.; ZU ERMGASSEN, E.K.H.J.; KIM, M.H.; BALMFORD, A.; AL-TABBAA, A. Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. **Journal of Cleaner Production**, 140, pp. 871-880, 2017.

SANDSTRÖM, V.; CHRYSAFI, A.; LAMMINEN, M.; TROELL, M.; JALAVA, M.; PIIPPONEN, J.; SIEBERT, S.; VAN HAL, O.; VIRKKI, V.; KUMMU, M. Food system by-products upcycled in livestock and aquaculture feeds can increase global food supply. **National Food**, v. 3, n. 9, pp. 729-740, 2022.

SANTOS, W. M. DOS; SECCOLI, S. R.; PUSCHEL, V. A. A. A revisão integrativa da literatura na área da Enfermagem. **Revista Latino-Americana de**

Enfermagem, v. 31, e3896, 2023. DOI: 10.1590/1518-8345.0000.3896.

SHURSON, G.C. What a waste"—Can we improve sustainability of food animal production systems by recycling food waste streams into animal feed in an era of health, climate, and economic crises? **Sustainability**, v. 12, n.17, p. 7071, 2020.

SUN, X., DOU, Z.; SHURSON, G. C.; HU, B. Bioprocessing to upcycle agro-industrial and food wastes into high-nutritional value animal feed for sustainable food and agriculture systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 201, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107325>.

TIBBERTS, S. M.; SCAIFE, M. A.; ARMENTA, R. E. Apparent digestibility of proximate nutrients, nergy and fatty acids in nutritionally-balanced diets with partial or complete replacement of dietary fish oil with microbial oil from a novel Schizochytrium sp. (T18) by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v. 520, 2020.

VILLAS-BÔAS, S.G.; ESPOSITO, E.; MENDONCA, M.M. de. Bioconversion of apple pomace into a nutritionally enriched substrate by *Candida utilis* and *Pleurotus ostreatus*

World. **Journal of Microbiology and Biotechnology**., v. 19, n. 5, pp. 461-467, 2003

WANG, C.; SU, W. ZHANG, Y.; HAO, L.; WANG, F.; LU, Z.; ZHAO, J.; LIU, X.; WANG, Y. Solid-state fermentation of distilled dried grain with solubles with probiotics

for degrading lignocellulose and upgrading nutrient utilization. *AMB Express*, v. 8, n. 1, p. 188, 2018.

YAO, G., CHEN, X., ZHENG, H., LIAO, D., YU, Z., WANG, Z., CHEN, J. Genomic and chemical investigation of bioactive secondary metabolites from a marine-derived fungus *Penicillium steckii* P2648. **Frontiers in microbiology**, v. 12, p. 600991, 2021.

ZUO, S.S.; NIU, D.Z.; NING, T.T.; ZHENG, M.L.; JIANG, D.; XU, C.C. Protein enrichment of sweet potato beverage residues mixed with peanut shells by *Aspergillus oryzae* and *Bacillus subtilis* using central composite design. **Waste Biomass Valorization**, v.9, n. 5, pp. 835-844, 2018

Uso sustentável de resíduos orgânicos para produção em semi-cativeiro de *Hermetia illucens* “mosca-soldado negra” e seu uso na piscicultura

Sustainable use of organic waste for semi-intensive production of *Hermetia illucens* (black soldier fly) and its application in fish farming

Germán Augusto Murrieta Morey¹²⁴

Joel Vásquez Bardales²

Luciano Alfredo Rodríguez Chu¹

Harvey Satalaya Arellano¹

Diego Carvalho Viana³⁴

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



1 Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Programa de Investigación AQUAREC, Iquitos, Loreto-Perú

2 Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Loreto-Perú

3 Núcleo de Estudos Morfofisiológicos Avançados (NEMO), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil

4 Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (PPGCA/UEMA)

Email: * diego_carvalho_@hotmail.com

Resumo: Na Amazônia, os resíduos orgânicos não são utilizados de forma sustentável, sendo jogados nos rios ou deixados no meio da floresta. No entanto, seu uso, baseado no princípio da Economia Circular, pode ser benéfico para os piscicultores rurais amazônicos, que enfrentam dificuldades na produção de peixes, devido ao alto custo dos insumos alimentares estipulados na piscicultura. Nesse sentido, o presente estudo validou uma tecnologia de produção em semi-cativeiro para *Hermetia illucens*, popularmente conhecida como “mosca-soldado negra”, usando resíduos orgânicos coletados em áreas urbanas e rurais. O estudo foi realizado na cidade de Iquitos, em Loreto-Peru, onde cascas de frutas cítricas e restos de frutas cítricas (laranjas e cidras) foram coletados e usados como substrato para a produção de larvas de mosca-soldado. O uso desse substrato provou ser eficaz, pois foi capaz de produzir larvas de mosca-soldado negra, que foram usadas para alimentar peixes amazônicos de importância para a piscicultura. O ciclo de vida da mosca-soldado negra foi de aproximadamente 30 dias. A fase de ovo foi registrada durando 5 dias, depois os estágios larvais por aproximadamente 15 dias, período em que as larvas podem ser coletadas para uso na alimentação de peixes. Para testar a produção e o uso das larvas da mosca-soldado negra, foram usados 180 alevinos de *C. macropomum* com tamanho inicial entre 3-4 cm e peso de 1,5 a 2 g. Foram usados 60 peixes por tratamento, distribuídos em 9 gaiolas flutuantes, com 20 peixes em cada gaiola. As gaiolas flutuantes foram instaladas em um tanque de peixes. Os tratamentos (T) consistiram em T1: peixes alimentados com LMSN,

T2: peixes alimentados com cupins e T3: peixes alimentados com ração balanceada. As LMSN foram obtidas usando resíduos de laranja para sua produção. Os cupins foram coletados de ambientes naturais e a ração balanceada foi comprada de uma empresa comercial em Iquitos, Peru. Os resultados do estudo mostraram que os peixes alimentados com ração balanceada ganharam mais tamanho e peso do que os peixes alimentados com LMSN e cupins. Entretanto, os peixes alimentados com LMSN apresentaram índices zootécnicos adequados e melhores valores do que os peixes alimentados com cupins, com pequenas diferenças entre os valores relatados para os peixes alimentados com ração balanceada. Conclui-se que os peixes alimentados com LMSN apresentam crescimento e ganho de peso adequados, com melhores valores de índices zootécnicos do que os peixes alimentados com cupins, podendo ser utilizados como uma boa alternativa para alimentação e criação em cativeiro de peixes amazônicos como o *C. macropomum*.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Alimentos alternativos; Agroecologia.

Abstract: In the Amazon, organic waste is not used sustainably, often being dumped into rivers or left in the forest. However, its use—based on the principles of the Circular Economy—can benefit rural fish farmers in the Amazon, who face challenges in fish production due to the high cost of feed inputs used in aquaculture. In this context, the present study validated a semi-intensive production technology

for *Hermetia illucens*, commonly known as the black soldier fly, using organic waste collected from urban and rural areas. The study was conducted in the city of Iquitos, Loreto–Peru, where citrus peels and citrus fruit residues (oranges and citrons) were collected and used as a substrate for black soldier fly larvae production. This substrate proved effective, as it successfully produced black soldier fly larvae, which were used to feed Amazonian fish species important to aquaculture. The life cycle of the black soldier fly lasted approximately 30 days. The egg phase lasted about 5 days, followed by larval stages of around 15 days, during which the larvae can be harvested for use as fish feed. To test the production and use of black soldier fly larvae (BSFL), 180 *C. macropomum* fry with initial sizes between 3–4 cm and weighing 1.5 to 2 g were used. A total of 60 fish per treatment were used, distributed in 9 floating cages, 20 fish in each cage. The floating cages were installed inside a fishpond. The treatments (T) consisted of T1: fish fed with BSFL, T2: fish fed with termites and T3: fish fed with balanced feed. BSFL were obtained using orange waste for their production. The termites were collected from natural environments, and the balanced feed was purchased from a trading company in Iquitos, Peru. The results of the study showed that fish fed with balanced feed gained more size and weight than fish fed with BSFL and termites; however, fish fed with BSFL showed adequate zootechnical indexes and better values than fish fed with termites, with small differences between the values reported for fish fed with balanced feed. It is concluded that fish fed with BSFL showed adequate growth and weight gain, with

better zootechnical index values than fish fed with termites and can be used as a good alternative for feeding and rearing in captivity of Amazonian fish such as *C. macropomum*.

Keywords: Sustainability; Alternative foods; Agroecology.

1 Introdução e Contexto

Na Amazônia, os produtores rurais de peixes amazônicos, como *Colossoma macropomum* “tambaqui”, *Piaractus brachypomus* “pacu”, *Brycon amazonicus* “matrinxã”, *Prochilodus nigricans* “curimatá” e *Arapaima gigas* “pirarucú”, usam rações comerciais em suas campanhas de produção. Essas rações à base de farinha de peixe são caras e nem sempre adequadas para alimentar os peixes amazônicos. Os piscicultores também usam os chamados “peixes forrageiros” e insetos selvagens, como cupins retirados do meio ambiente, o que leva a uma forte predação do meio ambiente. Além disso, do ponto de vista parasitológico, alimentar os peixes com “peixes forrageiros” e invertebrados em geral aumenta a probabilidade de infecção por endoparasitas (Alcántara; Colace, 2001).

Os piscicultores rurais da Amazônia, em sua maioria indígenas, dedicam seus esforços diários a atividades como agricultura de subsistência, pesca, caça de animais silvestres e coleta de frutas. Em seu cotidiano, eles geram resíduos orgânicos como: cascas de banana e outras cascas de vegetais, sementes e outros resíduos de frutas silvestres, que

são descartados na floresta ou jogados nos rios. Esses grupos humanos desconhecem a utilidade desses resíduos orgânicos para a alimentação humana, ração animal e fertilizante orgânico para atividades agrícolas (Alcántara, 2006). Assim, com base no princípio da Economia Circular (Cashion et al., 2017; Nesic e Zagon, 2019; Sogari et al., 2019), este trabalho demonstra a utilidade dos resíduos orgânicos gerados pelos piscicultores amazônicos como substrato para a criação de larvas de *Hermetia illucens* “mosca-soldado negra”, que são utilizadas como alimento vivo para os peixes amazônicos e, por sua vez, permite à produção de uma farinha de insetos artesanal que pode ser utilizada para complementar a dieta dos peixes.

2. Metodologia

2.1 Coleta de resíduos orgânicos para a elaboração do substrato

A coleta de lixo orgânico é realizada em diferentes partes da cidade, pois pode ser usada entre cascas e bagaços de laranja, bananas, legumes e outros resíduos orgânicos, que são úteis como substrato para a produção de larvas da “mosca soldado negra”. O lixo orgânico urbano pode ser coletado em mercados de frutas da cidade, barracas de suco de laranja e locais onde as frutas não utilizadas são jogadas fora. No caso das áreas rurais, frutas amazônicas como toranja, limão, cidra, entre outras, podem ser encontradas em terrenos livres ou particulares (Figura 1).



Figura 1. Coleta de frutas em áreas rurais para uso como substrato na produção da mosca soldado negra.

Fonte: Autores, 2025.

2.2 Fabricação dos módulos de produção (caixas de madeira)

Os módulos de produção de mosca soldado negra consistem em caixas de madeira com aproximadamente 2 m de comprimento x 1 m de largura. Elas devem ter pernas longas para evitar a entrada de aves ou outros animais. As caixas devem ser forradas com plástico. A localização das caixas deve ser ao ar livre, com alguma proteção contra chuva ou sol excessivo (Figura 2).



Figura 2. Fabricação de caixas de madeira para a produção da mosca soldado negra. A. Trabalhadores construindo as caixas, B. Cobertura para as caixas. C. Caixas acabadas sob um teto coberto. D. Caixas de madeira em operação.

Fonte: Autor, 2025.

2.3 Preparação do substrato

Para a preparação do substrato, que atua como uma isca atrativa é usada diferentes substratos, por exemplo, frutas cítricas, maduras. As frutas devem ser cortadas ao meio ou em pedaços. Para isso, use pó de arroz junto com as frutas para acelerar a fermentação das frutas. Em geral, para cada unidade de produção (caixas de madeira forradas com plástico) são usados 20 kg de frutas e 6 kg de pó de arroz, misturados com água (Figura 3). Quando se obtém uma massa compacta, semelhante a um mingau, a unidade de produção é deixada em um local protegido da chuva e do sol, mas ventilado

para permitir a entrada das moscas-soldado para oviposição.



Figura 3. Preparação do substrato usando laranjas e pó de arroz. A. Cortes das frutas, B. Colocação das frutas nas caixas de madeira, C. Mistura de frutas, água e pó de arroz

Fonte: Autor, 2025.

2.4 Oviposição das fêmeas nos módulos de produção

Dentro de 2 a 3 dias após a colocação do substrato, as moscas *Hermetia illucens*, assim como outro gênero de mosca degradadora: *Ptecticus* sp. adultas podem ser vistas voando ao redor dos módulos. Algumas podem ser observadas copulando, enquanto outras podem ser observadas colocando ovos no próprio substrato ou nos cantos e paredes revestidos com plástico. Se tiverem sido instaladas armadilhas para ovos, elas também poderão ser verificadas quanto à presença de ovos. Os ovos são reconhecíveis por serem massas esbranquiçadas e/ou amareladas. Cada ovo tem um formato oval, como pequenos grãos de arroz.

Os ovos podem ser vistos a olho nu, grudados nas paredes dos módulos de produção ou em cima de frutas em decomposição (Figura 4).

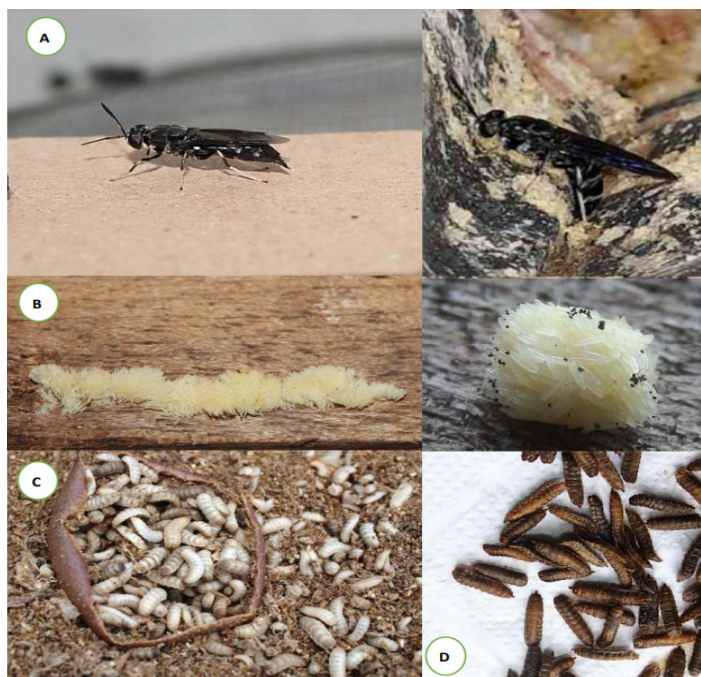


Figura 4. Espécimes de mosca soldado negra. A: Fêmeas rondando a armadilha de ovos e fêmeas depositando ovos nas paredes da caixa. B: Massas de ovos da mosca-soldado negra colocadas na armadilha de ovos e na tampa plástica da caixa. C: Larvas e D: Pupas da mosca-soldado negra

Fonte: Autor, 2025.

2.4 Coleta e extração de larvas

As larvas podem ser coletadas do 7º ao 10º dia após a instalação dos substratos nas unidades de produção. As larvas podem ser coletadas separando-se manualmente os resíduos orgânicos, utilizando-se uma bandeja plástica onde é colocado

o substrato com as larvas, observando-se que as larvas migram para as extremidades da bandeja para serem coletadas; também quando o substrato já estiver degradado e transformado em pó, ele pode ser coado e as larvas podem ser separadas. O processo de extração das pupas e pré-pupas dos leitos de cultivo é realizado 30 a 40 dias após o início do sistema de criação em semi-cativeiro. O substrato já seco é peneirado em busca de larvas, pré-pupas e pupas, e os diferentes estágios são separados por peneiramento, onde as pré-pupas e pupas são separadas em diferentes recipientes para serem colocadas em outro substrato. As pré-pupas são colocadas em um recipiente com areia para que possam ser enterradas em busca de um local seguro para passar para o próximo estágio de pupa. As pupas são colocadas em outro recipiente para liberação ou criação em cativeiro em armadilhas para moscas (Figura 5).



Figura 5. Separação de larvas de mosca-soldado do substrato. A. Separação manual. B. Separação por migração para as extremidades da bandeja. C. Separação usando peneira. D. Larvas de mosca-soldado removidas do substrato.

Fonte: Autor, 2025.

2.5 Alimentação de peixes com larvas de mosca-soldado

Os peixes podem ser alimentados com larvas de mosca-soldado de diferentes tamanhos, correspondentes aos diferentes instares ou estágios larvais. A alimentação pode ser oferecida em lagos, gaiolas flutuantes, tanques de concreto ou aquários de vidro (Figura 6 e 7).



Figura 6. A. Uso de larvas de mosca-soldado para alimentar peixes. B. Alimentação em tanques. C. Alimentação em gaiolas flutuantes.

Fonte: Autor, 2025.



Figura 7. Uso de farinha de mosca-soldado para alimentar peixes. A. Farinha, B. Alimentação de peixes de aquário. C. Alimentação de *Colossoma macropomum*, D. Alimentação de *Corydoras* spp

Fonte: Autor, 2025.

2.6 Produção de farinha de mosca-soldado negra

Para a produção da farinha, as maiores larvas devem ser coletadas. Essas larvas devem ser mortas por congelamento, colocando-as na geladeira por cinco minutos, ou imergindo-as em água quente por 2 a 3 segundos. Em seguida, as larvas podem ser secas em secadores artesanais com madeira e calamina, expostas ao sol, ou podem ser colocadas no micro-ondas por cinco minutos e, por fim, moídas ou trituradas em moinhos manuais para obter a farinha de mosca-soldado (Figura 8).



Figura 8. Processo de preparação da farinha de mosca-soldado usando micro-ondas para secagem e moinho manual para obter a farinha de insetos.

Fonte: Autor, 2025.

2.7 Extração de guano

O processo de extração de guano é realizado após a extração de todas as larvas, pupas e pré-pupas do leito com o substrato seco, onde é novamente peneirado para evitar ao máximo a passagem de larvas. Depois de realizada a peneiração, o material peneirado é colocado ao sol para que as larvas que passaram possam migrar (Figura 9).



Figura 9. Processo de secagem de larvas usando secador artesanal.

Fonte: Autor, 2025.

2.8 Ciclo de vida de *Hermetia illucens* usando citros como substrato

O ciclo de vida da mosca-soldado negra é de aproximadamente 30 dias. A fase de ovo foi registrada durando 5 dias, depois os estágios larvais por aproximadamente 15 dias, período em que as larvas podem ser coletadas para uso na alimentação de peixes da Amazônia. Em seguida, elas passam pela fase de pré-pupa por aproximadamente 7 dias. Nesse estágio, as larvas podem ser usadas para fazer farinha, pois seu tamanho permite a obtenção de uma quantidade maior de farinha. O último estágio antes da fase adulta é a fase de pupa, que pode durar 7 dias, antes de passar para o último estágio: adulto, no qual a mosca-soldado se alimenta bebendo água, ocorre a cópula entre machos e

fêmeas e, por fim, as fêmeas procuram substrato para colocar seus ovos, voltando ao início do ciclo de vida.

2.9 Validação da produção de larvas de *Hermetia illucens* e seu uso na alimentação de *Colossoma macropomum*

Foi utilizado um total de 180 alevinos de *C. macropomum*, com $3,5 \pm 0,5$ cm de comprimento e $2,5 \pm 0,5$ g de peso. Foram usadas nove gaiolas flutuantes de 1 m³ feitas de sacos de polietileno e tubos plásticos. As gaiolas foram colocadas dentro de um tanque de peixes em três fileiras de três unidades. Para facilitar a alimentação e a coleta de amostras, foi construída uma ponte de madeira entre as fileiras de gaiolas. Foram usados três tratamentos (T): T1 = peixes alimentados com larvas de mosca-soldado negra (LMSN); T2 = peixes alimentados com cupins e T3 = peixes alimentados com ração balanceada. Cada tratamento consistiu em três réplicas, perfazendo um total de 20 peixes por réplica e 60 por tratamento. A duração do experimento foi de 60 dias. As avaliações de crescimento e ganho de peso foram realizadas a cada 15 dias, com amostragem na qual foram coletados dados biométricos, como comprimento e peso padrão. Após a amostragem, os peixes foram devolvidos às suas respectivas unidades experimentais. Após 60 dias de experimentação, os dados finais foram coletados em uma última amostragem, na qual foram registrados os valores finais de crescimento e ganho de peso. Posteriormente, os dados obtidos foram analisados, calculando-se os índices zootécnicos descritos por Castell e Tiews (1980): Ganho de tamanho, ganho de peso, ganho de peso diário, ganho de biomassa, taxa de conversão alimentar (TCA) aparente e

sobrevivência (%).

3. Resultados e Impactos Alcançados

O maior crescimento (cm) e ganho de peso (g) foi registrado nos peixes alimentados com ração balanceada (T3), seguido pelos peixes alimentados com T1 (LMSN) e, por fim, pelos peixes alimentados com cupins (T2) (Figura 10). Houve diferenças significativas ($p < 0,0001$) entre todos os tratamentos. Os valores dos outros índices zootécnicos avaliados apresentaram a mesma tendência, com os valores mais altos para os peixes do T3, seguidos do T2 e, por fim, dos peixes do T1 (Tabela 1).

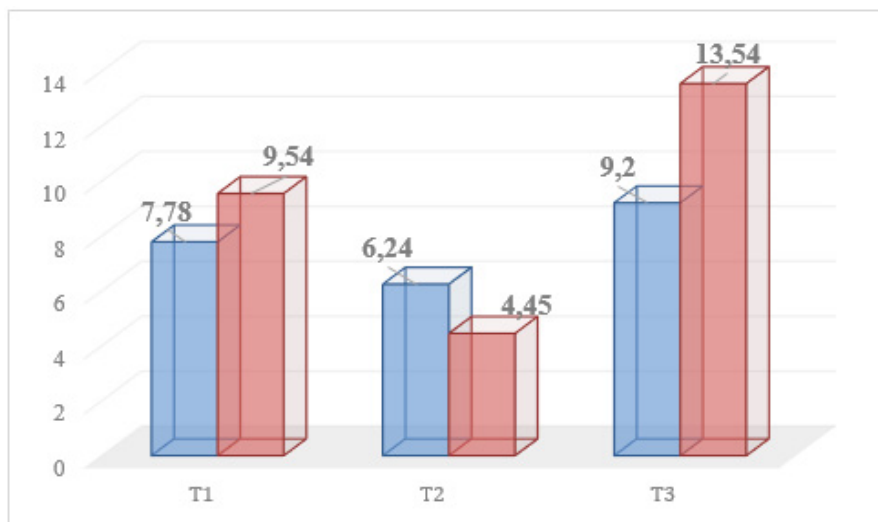


Figura 10: Ganho de comprimento (barras azuis) e ganho de peso (barras vermelhas) de espécimes de *Colossoma macropomum* alimentados com três tipos de alimento.

Fonte: Autor, 2025

Parâmetros	Tratamentos			p valor
	T1 = LMSN	T2 = TS	T3 = AB	
Comprimento I (cm)	4.35 ± 0.56 ^a	4.63 ± 0.73 ^a	4.74 ± 0.60 ^a	> 0.05
Comprimento F (cm)	7.78 ± 1.48 ^a	6.24 ± 0.94 ^b	9.20 ± 0.92 ^c	< 0.0001
Peso I (g)	1.29 ± 0.57 ^a	1.68 ± 0.94 ^a	1.78 ± 0.90 ^a	> 0.05
Peso F (g)	9.54 ± 5.34 ^a	4.45 ± 2.18 ^b	13.54 ± 4.13 ^c	< 0.0001
Ganho de tamanho (cm)	3.61 ± 0.74 ^a	1.65 ± 0.50 ^b	4.46 ± 0.08 ^c	< 0.0001
Ganho de peso (g)	8.87 ± 2.64 ^a	2.75 ± 0.54 ^b	11.76 ± 0.26 ^c	< 0.0001
GP diário (g)	0.15 ± 0.04 ^a	0.05 ± 0.01 ^b	0.20 ± 0.01 ^c	< 0.05
Biomassa inicial (Kg)	0.02 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	> 0.05
Biomassa final (Kg)	0.12 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.02 ^b	0.27 ± 0.01 ^c	< 0.05
Ganho de Biomassa (Kg)	0.10 ± 0.02 ^a	0.02 ± 0.01 ^b	0.24 ± 0.01 ^c	< 0.05
Alimento consumido (Kg)	0.15 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.04 ^a	0.37 ± 0.03 ^b	< 0.05
TCA	1.52 ± 0.20 ^a	6.00 ± 1.51 ^b	1.58 ± 0.08 ^a	< 0.05
% sobrevivência	95% ^a	60% ^b	95% ^a	< 0.05

Tabela 01: Parâmetros zootécnicos observados na alimentação de *Colossoma macropomum* com três tipos de alimento.

Fonte: Autor, 2025.

Os resultados da presente pesquisa apresentam o uso de LMSN como um alimento nutricionalmente adequado para o crescimento de *C. macropomum*. Vargas-Arana *et al.* (2024) mencionam que as larvas e as refeições larvais das larvas da mosca-soldado negra na Amazônia peruana são uma boa fonte de proteína, minerais, aminoácidos essenciais e ácidos graxos insaturados com alto valor nutricional. Esses autores relatam que as LMSN alimentadas com bagaço de laranja têm um alto teor de proteína entre 40-44 %BP, lipídios 27-31%, alto teor de potássio e cálcio, bem como de ferro e manganês. Levando em consideração que a ração balanceada comercial usada na Amazônia

peruana para alimentar o *C. macropomum* em seus estágios iniciais tem um valor de proteína entre 32-38%, ter uma ração natural e de baixo custo, com perfis nutricionais semelhantes ou melhores, representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento sustentável da piscicultura amazônica.

Isso indica que é viável alimentar o *C. macropomum* com LMSN, pois ela apresenta bons resultados em termos de crescimento e ganho de peso. Além do fato de que o uso de LMSN é uma alternativa mais barata ao uso de ração balanceada e que, por sua vez, se enquadra nas tecnologias de economia circular, sendo uma alternativa de produção para piscicultores rurais de baixa renda que poderiam usar seus resíduos orgânicos gerados diariamente como substrato para a produção de LMSN e consequente uso na alimentação de peixes de criação.

Este estudo mostrou que o uso de LMSN como parte da ração para peixes representa uma abordagem viável que pode contribuir para o desenvolvimento da piscicultura e, conseqüentemente, para o desenvolvimento sustentável da piscicultura na Amazônia peruana.

4. Recomendações

A experiência desenvolvida demonstra que a produção de *Hermetia illucens* em semi-cativeiro, utilizando resíduos orgânicos urbanos e rurais como substrato, é uma alternativa viável e sustentável para piscicultores da Amazônia. A simplicidade na



estrutura dos módulos de criação, o fácil acesso aos resíduos utilizados e o curto ciclo de vida da mosca-soldado negra tornam essa prática adaptável a diferentes contextos amazônicos e até mesmo a outras regiões com desafios semelhantes na piscicultura. Assim, recomenda-se que instituições de pesquisa, cooperativas e órgãos de assistência técnica promovam a capacitação de produtores locais e a disseminação dessa tecnologia, visando à redução dos custos de produção e ao uso racional dos recursos naturais disponíveis. Para o aprimoramento da ação relatada, sugere-se a criação de políticas públicas de incentivo à produção de insetos como fonte alternativa de proteína na alimentação animal, bem como a regulamentação e fiscalização adequadas para garantir a segurança sanitária do processo. A adoção dessa tecnologia em maior escala pode contribuir significativamente para práticas agroecológicas, redução do desperdício de alimentos e geração de renda em comunidades rurais. Espera-se, ainda, que essa abordagem fortaleça iniciativas voltadas à Economia Circular, favorecendo a consolidação de sistemas produtivos mais resilientes, autônomos e sustentáveis na região amazônica.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido, essencial para o desenvolvimento deste projeto, bem como pela outorga de benefício ao Prof. Dr. Germán Augusto Murrieta Morey, viabilizando sua missão de estudos.



6. Referências

ALCANTARA, F.; COLACE, M. **Piscicultura, seguridad alimentaria y desarrollo sostenible en la carratera Iquitos-Nauta y el río Tigre**. Valorando y preservando Nuestros peces Amazonicos, 122. 2001

ALCANTARA-BOCANEGRA, F. Situación de la piscicultura en la amazonia peruana y estrategia para su desarrollo. **Folia Amazónica**, v. 3, n. 1-2, p. 81-94, 2006.

CASTELL, J. D.; TIEWS, K. **Report of the EIFAC, JUNS and ICES working group on the standarization of methodology in fish nutrition research**. EIF AC Tech.1980.

CASHION, T.; TYEDMERS, P.; PARKER, R.; et al. Global reduction fisheries and their products in the context of sustainable limits. **Fish and Fisheries**, v. 18, n. 6, p. 1026- 1037, 2017.

NESIC, K.; ZAGON, J. Insects—a promising feed and food protein source? **Scientific journal Meat Technology**, v. 60, n.1, p. 56-67, 2019.

SOGARI, G.; AMATO, M.; BIASATO, I. The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. **Animals**, v. 9, n. 4, p. 1-15, 2019.

VARGAS-ARANA, G., VÁSQUEZ-BARDALES, J., MAYTAHUARI-ARICARI, G., SIMIRGIOTIS, M. J. Nutritional analysis and chemical fingerprinting of

black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal native to the Peruvian Amazon. **Folia Amazónica**, v. 33, n. 1, p. e33719-e33719, 2024.



MERMÃS DIGITAIS: UMA ANÁLISE CIENTÍFICA SOBRE A INSERÇÃO DE MENINAS NAS STEAM NA REGIÃO TOCANTINA

MERMÃS DIGITAIS: A SCIENTIFIC ANALYSIS ON THE INSERTION OF GIRLS IN STEAM IN THE TOCANTINA REGION

Yasmin Milhomem de Oliveira¹

Gabriel Vieira Lima²

Aricelma Costa Ibiapina²

Simone Azevedo Bandeira de Melo Aquino²

ESTE TRABALHO CONTRIBUI PARA O(S) ODS:



¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) - Imperatriz, MA - Brasil

Resumo: Este artigo relata a experiência do projeto Mermãs Digitais desenvolvido no Instituto Federal do Maranhão – Campus Imperatriz, com foco na promoção da equidade de gênero nas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM). Alinhado aos ODS 4 e 5, o estudo adota uma abordagem qualitativa e analisa 17 publicações vinculadas às ações do projeto. Os resultados indicam que metodologias como gamificação e aprendizagem baseadas em projetos favorecem o engajamento, a autoconfiança e o desempenho de meninas, em conteúdos tecnológicos. Apesar dos avanços, persistem barreiras como estigmas de gênero e limitações de acesso. Conclui-se que o projeto contribui para ampliar a participação feminina na educação tecnológica e, pode servir como modelo para outras iniciativas inclusivas.

Palavras-chave: Gênero; Educação tecnológica; STEAM; Inclusão.

Abstract: This article presents the experience of the Mermãs Digitais project, developed at the Federal Institute of Maranhão – Imperatriz Campus, aiming to promote gender equity in Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) fields. Aligned with SDGs 4 and 5, the study adopts a qualitative approach and analyzes 17 publications related to the project's activities. Findings indicate that methodologies such as gamification and project-based learning enhance girls' engagement, self-confidence, and performance in technological subjects. Despite progress, barriers such as gender stereotypes and limited access to resources persist.

The study concludes that the project contributes to increasing female participation in technological education and may serve as a model for other inclusive initiatives.

Keywords: Gender; Technological education; STEAM; Inclusion.

1. Introdução

A Agenda 2030 das Nações Unidas representa um compromisso global com o desenvolvimento sustentável, por meio da promoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), cuja finalidade é erradicar a pobreza, proteger o planeta e assegurar prosperidade para todos. Entre esses objetivos, destacam-se o ODS 4 - Educação de Qualidade e, o ODS 5 - Igualdade de Gênero, que reforçam a importância da equidade, no acesso à educação e à ampliação da participação feminina, em diferentes esferas da sociedade, especialmente nos campos científico e tecnológico. A educação, além de um direito fundamental, constitui instrumento central para a transformação social, pois possibilita o empoderamento de indivíduos em situação de vulnerabilidade, promovendo inclusão e justiça social (ONU, 2024). Neste cenário, fomentar a presença feminina nas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM), não apenas fortalece a diversidade de perspectivas, mas também contribui para um avanço mais equitativo da sociedade (ONU, 2015).

Apesar da relevância crescente das carreiras em STEAM, as estatísticas revelam um

quadro persistente de desigualdade de gênero. O relatório da UNESCO Brasil (2018) evidencia que os cursos dessas áreas, ainda são majoritariamente frequentados por homens, mesmo com o aumento da oferta e das políticas de incentivo. Munilla (2018) observa que o interesse das mulheres nesse campo permanece reduzido, influenciado por fatores estruturais e simbólicos, que afetam desde a formação básica até o ensino superior. Entre os principais desafios para a permanência feminina nessas carreiras estão os estereótipos de gênero, a carência de modelos inspiradores, o suporte limitado de familiares e professores, bem como as barreiras acadêmicas e emocionais enfrentadas no percurso formativo (Santos; Marczak, 2023; Martins *et al.*, 2019).

Os estigmas que associam habilidades técnicas à masculinidade ainda são recorrentes, impactando negativamente a autoconfiança das meninas e, consequentemente, seu interesse em áreas como computação, engenharia e matemática. Essa construção social afasta potenciais talentos e, limita a diversidade nos campos de inovação e pesquisa. Além disso, o déficit de ações extracurriculares voltadas ao engajamento feminino e, a pressão psicológica gerada por ambientes competitivos e, muitas vezes, excludentes, agravam o cenário de evasão (Martins *et al.*, 2019). Compreender essas dinâmicas é essencial, para o desenvolvimento de estratégias, que promovam o acesso, a permanência e o sucesso das mulheres nos setores científicos e tecnológicos.

Foi nesse contexto, que surgiu o projeto Mermãs Digitais, iniciativa desenvolvida no Instituto Federal do Maranhão – Campus Imperatriz, que

busca enfrentar a baixa representatividade feminina nas áreas de computação e tecnologia. A proposta emergiu da constatação empírica da baixa presença de alunas no curso de Ciência da Computação da instituição e, visa articular ações educativas, comunicacionais e extensionistas voltadas ao empoderamento de meninas e jovens mulheres. Com forte atuação na Região Tocantina, o projeto atua como um catalisador de mudanças, promovendo oficinas, eventos e campanhas de sensibilização que contribuem diretamente para os ODS 4 e 5. A marca construída pelo Mermãs tem sido referência institucional e social, tanto pela sua visibilidade quanto pelos impactos gerados.

Este artigo apresenta um relato de experiência com base em estudos já publicados sobre o Mermãs Digitais, com o intuito de sistematizar o conhecimento gerado e, analisar as contribuições do projeto para a equidade de gênero e o acesso à educação científica e tecnológica. A partir da análise de artigos científicos e capítulos de livros, que documentam ações do projeto, buscou-se compreender a abrangência, os resultados e os aprendizados dessa trajetória. Para tal, o artigo está estruturado em seis seções: a introdução, que apresenta o contexto e os objetivos; a caracterização da Região Tocantina e do Mermãs Digitais; a metodologia, que descreve os procedimentos de análise documental; a apresentação dos resultados a partir da estrutura do projeto; a discussão crítica dos achados; e, por fim, as considerações finais com reflexões e perspectivas futuras.

2. A Região Tocantina e o Mermão Digitais

A sub-representação de meninas e mulheres nas áreas de Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM) é um fenômeno global, historicamente construído, que se manifesta, inclusive, na região Tocantina, no sul do Maranhão. Apesar dos avanços educacionais conquistados nas últimas décadas, as estatísticas ainda revelam profundas desigualdades de gênero nessas áreas do conhecimento, especialmente nos cursos vinculados à Computação e às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

De acordo com dados do INEP (2024), a participação feminina em cursos superiores de Computação e TIC no Brasil passou de 15,8% em 2010 para apenas 20,6% em 2023. Embora o número absoluto de ingressantes do sexo feminino tenha crescido de 18.722 para 97.628 nesse período, a diferença proporcional em relação ao número de homens evidencia um avanço lento e insuficiente diante da magnitude da desigualdade. No cenário internacional, segundo relatório da JetBrains (2024), apenas 6% dos desenvolvedores no mundo são do gênero feminino.

Essa realidade também se expressa no contexto regional. O curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Instituto Federal do Maranhão – Campus Imperatriz, conforme ilustrado na Tabela 1, registra, entre os anos de 2012 a 2025, uma média de apenas 11,1% de ingressantes do sexo feminino, não tendo alcançado em nenhuma das suas turmas o marco de 20% de participação de mulheres. Tal dado revela não apenas a exclusão quantitativa,

mas também, a ausência de condições estruturais, simbólicas e pedagógicas que favoreçam o ingresso e a permanência de meninas nas carreiras tecnológicas.

Tabela 1. Ingressantes do Curso de Ciência da Computação

ANO	Nº MULHERES	Nº HOMENS	MULHERES (%)
2012	4	38	9,5%
2013	3	42	6,7%
2014	7	33	17,5%
2015	3	38	7,3%
2016	5	39	11,4%
2017	6	42	12,5%
2018	7	35	16,7%
2019	5	36	12,2%
2020	1	39	2,5%
2021	5	35	12,5%
2022	4	36	10,0%
2023	8	48	14,3%
2024	4	36	10,0%
2025	5	35	12,5%
TOTAL	67	532	11,19%

Fonte: Adaptado de Ibiapina *et al.*, 2024 ¹

A desigualdade de gênero nas STEAM não pode ser dissociada de fatores sociais, culturais e educacionais que, ao longo da formação escolar, desencorajam as meninas a se aproximarem das ciências exatas. Estereótipos de gênero, ausência

¹ O dado de 2025 foi atualizado pela lista pública de aprovadas do SISU 2025



de referências femininas na tecnologia, baixa autoconfiança e falta de acesso a experiências práticas são barreiras frequentemente identificadas na literatura científica (Hill; Corbett; St. Rose, 2010; Oliveira; Moro; Prates, 2014). Como consequência, muitas meninas sequer consideram possível seguir caminhos acadêmicos ou profissionais nesses campos.

Diante disso, este artigo fundamenta-se na experiência e nos dados do projeto de extensão Mermãs Digitais, desenvolvido pelo IFMA – Campus Imperatriz, com o objetivo de analisar cientificamente os impactos de ações de estímulo à participação de meninas nas STEAM na região Tocantina. O projeto, ativo desde 2020, atua diretamente com alunas do Ensino Médio da rede pública estadual, promovendo oficinas, minicursos, mesas-redondas e vivências no universo da robótica, da programação, da inteligência artificial e da cultura maker.

A proposta do Mermãs Digitais responde a uma demanda real da comunidade educacional local, expressa por meio de ofícios da Unidade Regional de Educação de Imperatriz (UREI), que solicitam ações voltadas à inclusão digital de meninas e, à promoção de seu protagonismo acadêmico e profissional nas áreas tecnológicas. Assim, a análise do projeto insere-se em um esforço mais amplo de compreender, a partir da realidade educacional da região Tocantina, quais estratégias são eficazes para romper os ciclos de exclusão de meninas das ciências e da tecnologia.

Este trabalho também se ancora nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030

da ONU, especialmente no ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 5 (Igualdade de Gênero), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e ODS 10 (Redução das Desigualdades). O projeto Mermãs Digitais, ao promover oportunidades educacionais qualificadas, inclusivas e inovadoras para meninas em situação de vulnerabilidade social, contribui de maneira direta para o alcance dessas metas, reforçando o papel transformador da educação pública e da extensão universitária.

Portanto, esta análise científica justifica-se não apenas pela escassez de dados sobre a inserção de meninas nas STEAM no interior do Maranhão, mas também pela urgência de produzir conhecimento que fundamente políticas públicas e práticas educacionais voltadas à equidade de gênero, à inclusão digital e à valorização da diversidade nas tecnologias. O enfrentamento das desigualdades nas STEAM passa necessariamente pelo reconhecimento de contextos específicos como o da região Tocantina — e pelo fortalecimento de ações territoriais, dialógicas e emancipadoras como o Mermãs Digitais.

3. Metodologia

A presente investigação adota uma abordagem qualitativa de natureza descritivo-analítica visando sistematizar o conhecimento produzido pelo projeto Mermãs Digitais, a partir de publicações já existentes (Santos, 2012). A seleção dos estudos foi realizada de forma empírica, com base na identificação dos nomes dos(as) pesquisadores(as) envolvidos(as) no projeto, a fim de abranger produções que, embora não mencionem

diretamente o nome da iniciativa, estejam vinculadas a suas ações e objetivos. Essa estratégia buscou garantir maior abrangência e, evitar a exclusão de materiais relevantes, que tratem da temática de forma indireta. A Tabela 1 apresenta o conjunto de publicações analisadas.

Foram considerados elegíveis para análise, artigos científicos publicados em periódicos ou anais com DOI, indexados em bases reconhecidas e com algum critério de avaliação de impacto, como o Qualis/CAPES. Além disso, capítulos de livros com ISBN e DOI também foram incluídos, desde que relacionados às ações desenvolvidas pelo projeto na região Tocantina. Ao todo, foram examinadas 7 (1-7) publicações em periódicos/indexadores e 10 (8-17) artigos publicados como capítulos de livros acadêmicos, totalizando 17 produções.

Tabela 2. Trabalhos analisados nesta pesquisa

Nº	TÍTULO DO TRABALHO	ANO	REFERÊNCIA
[1]	Desenvolvimento de um protótipo de jogo educativo para o ensino de Lógica de Programação para meninas	2024	Silva <i>et al.</i> 2024
[2]	O Uso do Instagram para Divulgação de Projetos nas Área de STEAM: Uma Análise do Perfil @mermasdigitais	2024	Lima <i>et al.</i> 2024
[3]	Uma revisão da literatura sobre ambientes digitais representativos para mulheres na área de Tecnologia da Informação com Gamificação e UX Design	2024	Silva <i>et al.</i> 2024
[4]	Introdução à Computação: Experiências na Construção do Conhecimento Tecnológico de Alunas do Mermãs Digitais	2024	Viana <i>et al.</i> 2024
[5]	Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico	2024	Ibiapina <i>et al.</i> 2024.
[6]	Aprendendo através de jogos: Relato de experiência de uma oficina para o desenvolvimento de jogos 2D com meninas no projeto de extensão Mermãs Digitais	2023	Viana <i>et al.</i> 2023
[7]	Oficina de Robótica com Arduino para Alunas do Ensino Médio da Rede Pública: um Relato de Experiência	2023	Castro <i>et al.</i> 2023
[8]	Mão no Hardware: Como mulheres e informática podem caminhar juntas?	2023	Oliveira <i>et al.</i> , 2023

[9]	Incentivando meninas que cursam o ensino médio da rede pública estadual na cidade de Imperatriz do Maranhão, a despertarem o interesse por cursos de Computação e suas Tecnologias.	2024	Ibiapina, A. C.; Aquino, S. A. B. M.; Freire, T. P., 2024
[10]	Robótica com Arduino: Criando espaços e experiências para fomentar o interesse de meninas pela área da computação.	2024	Castro <i>et al.</i> 2024
[11]	Imprimindo a Vida em 3D: Materializando o ensino da impressão 3D com o uso da ferramenta Tinkercad.	2024	Silva <i>et al.</i> 2024
[12]	Desenvolvimento de jogos 2D como ferramenta de inclusão: Relato de experiência com meninas do ensino médio no Projeto Mermãs Digitais.	2024	Viana <i>et al.</i> 2024
[13]	Rede de computadores: Introduzindo meninas aos conceitos básicos de segurança da informação no Projeto Mermãs Digitais.	2024	Bahury <i>et al.</i> 2024
[14]	Mermãs Digitais: Desenvolvimento Web como ferramentas de incentivo a meninas na área de tecnologia.	2024	Souza <i>et al.</i> 2024
[15]	Fomentando a Inclusão Digital por Meio de Atividades Práticas de Montagem de Computadores no Projeto de Extensão Mermãs Digitais.	2024	Oliveira <i>et al.</i> 2024
[16]	Utilização Estratégica do Instagram em Projetos de Extensão: Um estudo de caso do Projeto Mermãs Digitais.	2024	Lima <i>et al.</i> 2024
[17]	Hora do Código: Introduzindo meninas na programação de computadores com Python 3.0 no Projeto Mermãs Digitais	2024	Teixeira <i>et al.</i> 2024

Organização: Autores (2025)

A análise dos dados foi orientada por quatro eixos principais: (i) número de participantes envolvidos(as) nas ações relatadas; (ii) metodologia empregada em cada estudo; (iii) principais resultados reportados; e (iv) indicadores de impacto, tais como número de alunas impactadas, escopo das atividades desenvolvidas e contribuições para a promoção da equidade de gênero nas áreas de STEAM. A sistematização desses dados visa construir um relato consolidado das práticas e, resultados do projeto permitindo um olhar crítico sobre suas contribuições e, caminhos de aprimoramento.

4. A Estrutura do Mermãs Digitais

O projeto Mermãs Digitais, desenvolvido pelo Instituto Federal do Maranhão – Campus Imperatriz, entre os anos de 2020 e 2024, apresentou um impacto expressivo na promoção da inclusão de meninas nas áreas STEAM na região Tocantina. A análise dos resultados foi estruturada a partir de um recorte de ações e evidências documentadas em e-books, artigos científicos e relatórios de execução. Com uma abordagem mista (quali-quantitativa), esta seção detalha o cenário de implementação, as estratégias pedagógicas utilizadas, os dados coletados e a interpretação crítica do impacto social e institucional do projeto.

O projeto teve como público-alvo prioritário alunas do Ensino Médio da rede pública estadual de Imperatriz-MA, com idades entre 14 e 18 anos, selecionadas por meio de editais abertos e articulação com a Unidade Regional de Educação de Imperatriz (UREI). O local de realização foi majoritariamente o Laboratório de Ciência da Computação do IFMA, que ofereceu infraestrutura com 40 computadores, acesso à internet e ferramentas de aprendizado, impressoras 3D, além de kits de robótica. A atuação do projeto foi viabilizada por uma equipe composta por docentes, discentes — bolsistas e voluntários — do curso de Ciência da Computação, além de apoio técnico da Direção de Ensino e da Coordenadoria de Extensão.

Entre 2020 e 2022, as ações tiveram caráter exploratório e sensibilizador, envolvendo cerca de 90 alunas em oficinas e minicursos. A partir de 2023, com a institucionalização do curso de Formação

Inicial e Continuada (FIC) em Desenvolvimento Web, o projeto passou a atuar com estrutura curricular robusta, atendendo diretamente 40 alunas resultando, não apenas na conclusão do curso, como também na obtenção de certificação. A carga horária total foi de 200 horas, distribuídas em disciplinas como Introdução à Computação, Redes de Computadores, Segurança da Informação, Interfaces Web, Desenvolvimento Web I e II.

As ações pedagógicas foram planejadas com base em metodologias ativas como gamificação, aprendizagem baseada em projetos (PBL) e aprendizagem colaborativa. Tais metodologias foram aplicadas por meio de dinâmicas práticas, uso de plataformas como Kahoot, quizzes, oficinas de montagem de hardware, produção de sites, robôs, podcasts e jogos educativos. A disciplina de Introdução à Computação, por exemplo, foi estruturada em três módulos (Informática Básica, Redes e Segurança), com forte apoio didático, avaliações por módulo e utilização de apostilas e recursos audiovisuais.

No tocante à comunicação e ao engajamento institucional, o projeto utilizou o Instagram como ferramenta estratégica. Uma análise quantitativa e qualitativa do perfil @mermasdigitais realizada com base em 133 postagens ao longo de três edições, revelou que os conteúdos em formato Reels obtiveram os maiores índices de alcance e engajamento. Postagens da categoria "entretenimento" apresentaram engajamento médio superior a 6,2%, superando o referencial ideal de 5%. Esse desempenho contribuiu para o aumento da visibilidade do projeto e a aproximação com o

público-alvo jovem e feminino.

Entre os produtos desenvolvidos pelas alunas durante o curso e oficinas, destacam-se: páginas web pessoais, aplicativos simulados, jogos 2D, montagens de computadores e podcasts. Além disso, foi desenvolvido um protótipo de jogo educativo voltado para o ensino de Lógica de Programação, com estética e narrativa adaptadas ao público feminino, buscando combater estigmas de gênero, por meio do lúdico. A gamificação foi utilizada de forma transversal, favorecendo o protagonismo, a permanência e a motivação das participantes.

Os principais desafios enfrentados incluíram a desigualdade de acesso a equipamentos nas residências das alunas, dificuldade de permanência em função de deslocamento e demandas familiares, além da limitação de infraestrutura do campus para comportar um número maior de participantes. Tais desafios foram mitigados com empréstimo de equipamentos, adaptação de horários e apoio psicopedagógico por meio de mentorias.

Os dados qualitativos, coletados por meio de questionários aplicados ao final das disciplinas, revelaram alto índice de satisfação. Alunas relataram que o projeto foi decisivo para enxergarem a tecnologia como uma área possível, segura e inspiradora para mulheres. Relatos destacaram ainda o efeito positivo na autoestima, no senso de pertencimento e na vontade de seguir na área de computação.

A sistematização e o estudo científico dessa experiência extensionista revelam-se fundamentais não apenas para validar os resultados obtidos, mas também para transformar boas práticas em

conhecimento replicável. A produção acadêmica oriunda do projeto — na forma de artigos, apresentações em congressos, e-books e relatórios técnicos — contribui para o avanço da pesquisa em educação tecnológica, com foco na equidade de gênero e na inovação metodológica. Registros como este permitem que iniciativas semelhantes sejam inspiradas, adaptadas e aplicadas em outros territórios com desafios sociais e educacionais análogos.

Do ponto de vista institucional, o Mermãs Digitais consolidou-se como uma política pública de extensão bem-sucedida, alinhada às diretrizes da Agenda 2030 da ONU, especialmente os ODS 4 (Educação de Qualidade), 5 (Igualdade de Gênero), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 10 (Redução das Desigualdades). As evidências documentais confirmam que o projeto contribuiu para a expansão da presença feminina nas tecnologias, bem como para a qualificação socialmente referenciada de jovens mulheres na região Tocantina.

Em síntese, os resultados obtidos confirmam a hipótese central do projeto: quando expostas a metodologias acolhedoras, tecnologias acessíveis e exemplos femininos de sucesso, meninas tendem a se envolver de forma efetiva e contínua com as áreas STEAM. O Mermãs Digitais, portanto, não apenas introduziu meninas no universo tecnológico, como também contribuiu para redesenhar as fronteiras de gênero no campo da computação no sul do Maranhão.

Discussões e Conclusões Finais

Os resultados desta revisão evidenciam que a gamificação exerce impacto positivo nas dimensões psicológicas e comportamentais dos alunos, especialmente no engajamento com conteúdo de tecnologia e programação. A literatura destaca que plataformas gamificadas, ao oferecerem emblemas, feedback imediato e trilhas de aprendizagem personalizadas tornam-se aliadas no processo educacional, ao estimular o senso de progresso, pertencimento e competência. Tais elementos, também, promovem dinâmicas colaborativas por meio de missões em grupo, o que reforça o trabalho em equipe, a alfabetização digital e o desenvolvimento de habilidades socioemocionais.

No contexto de gênero, os estudos apontam lacunas persistentes na criação de ambientes digitais inclusivos para mulheres. Apesar de representarem uma parcela expressiva dos usuários de jogos e plataformas digitais, as mulheres seguem sub-representadas nos papéis de criação e desenvolvimento tecnológico. A análise revela que há poucas iniciativas que incorporam metodologias de UX Design e gamificação com foco explícito em inclusão de meninas e mulheres, especialmente em áreas como desenvolvimento de jogos e programação. Essa ausência impacta diretamente a eficácia das estratégias educacionais, limitando o acesso e a permanência de alunas em trilhas de aprendizagem em STEM.

As metodologias mais eficazes identificadas foram a aprendizagem baseada em projetos e a gamificação, frequentemente associadas a

resultados positivos entre alunas, como aumento da confiança, da motivação e do desempenho prático. Ainda assim, barreiras estruturais como infraestrutura precária, limitações no domínio do idioma e dificuldades de acesso a equipamentos modernos foram citadas como fatores que comprometem a experiência de aprendizagem e acentuam desigualdades.

Os workshops analisados reforçam que experiências práticas são fundamentais, para despertar o interesse de meninas em áreas técnicas. No entanto, também revelam a necessidade de expandir o tempo e os recursos disponíveis para essas iniciativas, garantindo maior aprofundamento nas etapas essenciais da aprendizagem e suporte adequado às participantes iniciantes.

Adicionalmente, os achados apontam para um descompasso entre o interesse crescente das alunas e a baixa representação feminina em carreiras tecnológicas, revelando a necessidade urgente de ações mais estruturadas para combater estereótipos de gênero e promover ambientes acolhedores e representativos. Nesse sentido, a integração entre estratégias pedagógicas inovadoras e políticas institucionais de inclusão torna-se crucial, para transformar o cenário atual.

Salienta-se ainda que, embora os projetos e oficinas revisados demonstrem avanços relevantes, a revisão evidencia que há espaço considerável para a ampliação das metodologias utilizadas e para a sistematização de práticas inclusivas. Pesquisas futuras devem investigar o impacto longitudinal dessas iniciativas, considerando também, indicadores de permanência e avanço acadêmico das alunas em

carreiras tecnológicas.

A análise realizada neste artigo, também, evidencia a importância de se registrar e sistematizar experiências de extensão universitária, por meio da investigação científica. O registro censimétrico e analítico permite não apenas avaliar os resultados já alcançados, mas também guiar decisões futuras, identificar boas práticas, aprimorar metodologias e, tornar o conhecimento acessível a outros educadores, pesquisadores e gestores públicos. Em um cenário marcado por desigualdades, produzir ciência a partir da extensão é um ato de compromisso com a transformação social enraizada nos territórios.

Diante desses pontos, propõem-se como direções futuras a expansão do projeto na região Tocantina e no Maranhão, bem como o fortalecimento de parcerias com universidades, empresas de tecnologia e secretarias de educação, para garantir a sustentabilidade institucional e ampliação do impacto. Outra proposta relevante é a constituição de um projeto (como observatórios, núcleos e afins) sobre gênero e tecnologia, que possa acompanhar, sistematizar e difundir dados e experiências sobre a inclusão feminina nas STEAM, fortalecendo a articulação entre extensão, ensino, pesquisa e política pública.

Referências

BAHURY, P. F. et al. Rede de computadores: introduzindo meninas aos conceitos básicos de segurança da informação no Projeto **Mermãs Digitais**. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no**

universo tecnológico. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 79-86.

CASTRO, S. O. et al. Robótica com Arduíno: criando espaços e experiências para fomentar o interesse de meninas pela área da computação. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico.** São Luís: EDIFMA, 2024. p. 38-54.

HILL, C.; CORBETT, C.; ST. ROSE, A. **Why so few? Women in Science, Technology, Engineering, and Mathematics.** Washington, DC: AAUW, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/234647120_Why_So_Few_Women_in_Science_Technology_Engineering_a. Acesso em: 23 maio 2024.

IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico.** São Luís: EDIFMA, 2024.

IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. Projeto de Extensão Mermãs Digitais: incentivando meninas que cursam o Ensino Médio [...] a despertarem o interesse por cursos de Computação e suas Tecnologias. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico.** São Luís: EDIFMA, 2024. p. 14-37.

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Painel interativo de dados da educação superior – ingressantes por sexo**



em cursos de Computação e TIC. Brasília: INEP, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMGJiMmNiNTAtOTY1OC00ZjUzLTg2O-GUtmjAzYzNiYTA5YjlliwidCl6lj12ZjczODk3LWM4YWMT-NGlxZS05NzhmLWVhNGMwNzc0MzRiZiJ9&pageName=ReportSection4036c90b8a27b5f58f54>. Acesso em: 18 maio 2025.

JETBRAINS. Infográfico do Estado do Ecosystema dos Desenvolvedores em 2023. JetBrains: Developer Tools for Professionals and Teams. (2024). <https://www.jetbrains.com/pt-br/lp/devecosystem-2024/>

LIMA, G. V. et al. O Uso do Instagram para Divulgação de Projetos nas Área de STEAM: Uma Análise do Perfil @MermãsDigitais. In: WOMEN IN INFORMATION TECHNOLOGY (WIT), 18. , 2024, Brasília/DF. **Anais....** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 319-324. ISSN 2763-8626. DOI: <https://doi.org/10.5753/wit.2024.1886>.

LIMA, G. V. et al. Utilização estratégica do Instagram em projetos de extensão: um estudo de caso do Projeto Mermãs Digitais. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico.** São Luís: EDIFMA, 2024. p. 114-134.

MARTINS, A.; SILVA, J.; SANTOS, J.; REBOUÇAS, A. Fatores que Atraem e Afastam as Meninas de cursos da Área de TI. In: WOMEN IN INFORMATION TECHNOLOGY (WIT), 13, 2019, Belém. **Anais ...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019 . p. 114-118. ISSN 2763-8626. DOI: <https://doi.org/10.5753/wit.2019.6720>.

MUNILLA, M. S. “A ausência de mulheres nas carreiras de STEM: um problema social e de gênero”. **Adolescência**: Revista Júnior de Investigação, v. 5, n. 1, p. 12-22, nov. 2018. Disponível em <https://www.adolescencia.ipb.pt/index.php/adolescencia/article/view/262>. Acesso em 19/05//2025.

OLIVEIRA, Y. M. et al. Fomentando a inclusão digital por meio de atividades práticas de montagem de computadores no Projeto de Extensão Mermãs Digitais. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais**: introduzindo meninas no universo tecnológico. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 101-113.

Organização das Nações Unidas (ONU), 2015. **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 18 de Maio de 2025.

ONU Brasil. (2024). **Relatório Anual 2024**: ONU no Brasil. [PDF]. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2025-04/RelatorioAnualONUBrasil2024.pdf>. Acessado em: 19 de Maio de 2025

SANTOS, F. M. dos. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. **Revista Eletrônica de Educação**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 383–387, 2012. DOI: 10.14244/%19827199291. Disponível em: <https://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/291>. Acesso em: 18 maio. 2025.

SANTOS, N. D. dos; MARCZAK, S. Fatores de Atração, Evasão e Permanência de Mulheres nas Áreas da Computação. **Anais...** Women in Information Technology (WIT), 17., 2023, João Pessoa/PB. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 136-147. ISSN 2763-8626. DOI: <https://doi.org/10.5753/wit.2023.230789>.

SILVA, L. G. da et al. Desenvolvimento de um protótipo de jogo educativo para o ensino de Lógica de Programação para meninas. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGAMES), 23, 2024, Manaus/AM. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 1374-1384. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbgames.2024.241262>.

SILVA, L. G. et al. Imprimindo a Vida em 3D: materializando o ensino da impressão 3D com o uso da ferramenta Tinkercad. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais:** introduzindo meninas no universo tecnológico. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 55-67.

SILVA, L. G. et al. Uma revisão da literatura sobre ambientes digitais representativos para mulheres na área de Tecnologia da Informação com Gamificação e UX Design. **Anais...** Women in Information Technology (WIT), 18, 2024, Brasília/DF. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 379-384. ISSN 2763-8626. DOI: <https://doi.org/10.5753/wit.2024.2360>.

SOUSA, L. M. V. et al. **Mermãs Digitais:** desenvolvimento



Web como ferramenta de incentivo a meninas na área de tecnologia. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). *Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico*. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 87-100.

TEIXEIRA, S. P. et al. Hora do Código: introduzindo meninas na programação de computadores com Python 3.0 no Projeto Mermãs Digitais. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico**. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 135-140.

VIANA, V. S. J. et al. Desenvolvimento de jogos 2D como ferramenta de inclusão: relato de experiência com meninas do Ensino Médio no Projeto Mermãs Digitais. In: IBIAPINA, A. C.; AQUINO, S. A. B. M.; FREIRE, T. P. (Org.). **Mermãs Digitais: introduzindo meninas no universo tecnológico**. São Luís: EDIFMA, 2024. p. 68-78.

VIANA, V. S. J. et al. Introdução à Computação: Experiências na Construção do Conhecimento Tecnológico de Alunas do Mermãs Digitais. **Anais... Women in Information Technology (WIT)**, 18, 2024, Brasília/DF. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 385-390. ISSN 2763-8626. DOI: <https://doi.org/10.5753/wit.2024.2383>.



AUTORES

CAPÍTULO 1: DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DA BACIA DO RIO FARINHA – MA E DIRETRIZES ALINHADAS AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)



Cristiane Matos da Silva

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2005), Especialização em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA/CESI), (2011), Mestra em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (NDAE/UFPA), (2019), Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental (UNIVALI), (2024). Tem experiência na área

de Engenharia Agrícola e Agronomia, com ênfase em Hidráulica, Irrigação, Drenagem, Paisagismo, Parques, Jardins e Gestão Ambiental. Atualmente exerce o cargo de Professora Adjunto I, no Centro de Ciências Agrárias - Campus Imperatriz, no curso de Engenharia Florestal sendo responsável pela área de HIDRÁULICA E HIDROLOGIA FLORESTAL. Bolsista Produtividade da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). Email: cristiane.silva@uemasul.edu.br.

Luciana Gomes de Brito

Acadêmica de Engenharia Agrônoma da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). Email: lucianabrito.20200002951@uemasul.edu.br





Matheus Matos Araújo da Silva

É acadêmico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agronomia. Email: matossilva39@gmail.com

Wilson Araújo da Silva

Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (2000), Mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2003) e Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2007). Atualmente é Professor Associado I da Universidade Estadual da Região

Tocantina do MA. Tem experiência na área de Engenharia Agrônoma, com ênfase em Irrigação e Drenagem, atuando principalmente nos seguintes temas: agricultura irrigada, agrometeorologia, classificação e física do solo, Aptidão, manejo e conservação do solo, manejo de solo e água em sistemas agrícolas e florestais, demanda hídrica, engenharia agrícola e mapeamento com drones. Líder do grupo Agrociência do diretório de grupos de pesquisa do CNPq. Bolsista produtividade UEMASUL. Email: wilson@uemasul.edu.br.





Jurandir Pereira Filho

Possui graduação em Oceanologia pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1992), mestrado em Geociências (Geoquímica) pela Universidade Federal Fluminense (1995) e doutorado em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (2006).

É professor da Universidade

do Vale do Itajaí, atuando nos cursos de graduação em Oceanografia e Engenharia Ambiental e Sanitária e no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (Mestrado e Doutorado). Tem experiência na área de Oceanografia, com ênfase em Interações Químico-Biológicas/Geológicas das Substâncias Químicas da Água do Mar, atuando principalmente nos seguintes temas: qualidade de água em ambientes aquáticos, biogeoquímica de nutrientes em estuários e ambientes costeiros associados, processos de transporte e transformação de nutrientes na interface continente-oceano e água-fundo oceânico. Participa do Projeto de Assessoria e Monitoramento Ambiental da Área de Influência do Porto de Itajaí, atuando na Coordenação Geral e como responsável pelos subprojetos de Monitoramento da Qualidade de Água e da Supervisão Ambiental da Atividade de Dragagem. Email: jurandir@univali.br

CAPÍTULO 2: APLICABILIDADE DA ODS 11 E 12 NA ANÁLISE DE FOCOS DE INCÊNDIO NO MUNICÍPIO DE MIRADOR, MA: TENDÊNCIAS E IMPACTOS ENTRE 2013 E 2023

Jonathan dos Santos Viana

Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela UEMA - Campus Imperatriz, mestrado e doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela UNESP/FCAV Campus Jaboticabal. Atua como professor substituto na UEMASUL/CCA nos cursos de Engenharia Agrônômica e Engenharia Florestal desde 2022. Também atua como tutor presencial do curso de Engenharia

Agrônômica da Faculdade Anhanguera - Campus Imperatriz desde 2023. Tem experiência na área de agronomia e engenharia agrícola com ênfase em Recursos Hídricos, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia de água e solo, cultivos irrigados, manejo de irrigação, agricultura irrigada e fertirrigação. Além de ter experiência com trabalhos voltados ao georreferenciamento e orientação de TCC na utilização de adubos verdes na melhoria de solos da região tocantina. Email: jonathan.viana@uemasul.edu.br.



Daniel Carlos Machado

Possui graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pela FIFE - Faculdades Integradas de Fernandópolis - SP. Mestre em Agronomia (Sustentabilidade na Agricultura) pela UEMS - campus Cassilândia - MS. Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP - campus

Jaboticabal/SP. Atua como professor substituto na FCAV/UNESP, no curso de Zootecnia. Tem experiência na área de agronomia, atuando principalmente nos seguintes temas: reaproveitamento de resíduos sólidos na agricultura, compostagem e vermicompostagem. Link lattes: <https://lattes.cnpq.br/2562008869352345>. Email: daniel.c.machado@unesp.br

Ana Livia Silva Santos

Discente do 8º período de Engenharia Floresta pela UEMASUL- Campus Imperatriz, e Técnica Florestal pelo IFMA- Campus Açailândia. Bolsista PIBIC no laboratório de Irrigação, Hidráulica e Hidrologia desde 2023. Pesquisadora na área de Silvicultura. Além de ter experiência como voluntária em trabalhos na área de entomologia. Link lattes: <http://lattes.cnpq.br/6894105870838586>. Email: analiviasilvadossantos109@gmail.com.



Gabriel de Sousa Coelho

Discente do curso de Engenharia Florestal pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), formação como Técnico em Edificações pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Campus Imperatriz. Tenho experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em geoprocessamento aplicado a análises de uso e cobertura da terra e a estudos de transformações ambientais. Minhas competências práticas incluem a elaboração de

mapas para georreferenciamento de imóveis rurais e o desenvolvimento de automações para monitoramento de variáveis ambientais, como a criação de sensores de umidade do solo e leitores automáticos para Tanque Classe A. Link lattes: <https://lattes.cnpq.br/7779582677459371>. Email: gabriel.coelho@uemasul.edu.br

Larissa Rodrigues Almeida

Discente do curso de Engenharia florestal da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, possui experiência em inovação científica em ciências do solo, visando a melhoria nutricional do solo por meio de rotação combinada a microrganismos, além de ter colaborado com

pesquisas no âmbito hidráulico contribuindo com a construção de tensiômetros de baixo custo. Link lattes: <https://lattes.cnpq.br/9145945440096808>. Email: llarisrodriguesalmeida@gmail.com.



CAPÍTULO 3: POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO **UMA ABORDAGEM ALINHADA AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**



Michael Douglas Roque Lima

É Engenheiro Florestal, graduado pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Paragominas (2013–2018). Possui mestrado em Ciências Florestais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRA, Campus Belém (2018–2020) e doutorado em Ciência e Tecnologia da

Madeira pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais. Atuou como Professor Substituto no curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) entre 2022 e 2025, período no qual também foi bolsista de Fixação de Recursos Humanos, modalidade SET-C, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Realizou estágio pós-doutoral na UFLA (2024–2025), desenvolvendo pesquisas com foco em resíduos madeireiros amazônicos. Atualmente, é Professor Adjunto I (Classe C) na UEMASUL. Possui experiência nas áreas de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Energia da Biomassa Lignocelulósica e no Desenvolvimento Tecnológico da Produção Sustentável de Carvão Vegetal e Lenha. E-mail: michael.lima@uemasul.edu.br Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6994462798126546>.

Joabel Raabe

É graduado no Curso Superior Sequencial de Formação Específica em Direito Penal pela Universidade Estadual do Piauí (2003) e em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Piauí (2011). Possui mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras (2014) e doutorado em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília – UnB (2019), com área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais. No mestrado, desenvolveu pesquisas voltadas à caracterização instrumental de fibras vegetais (química, física, térmica e microestrutural), à modificação química de partículas e fibras lignocelulósicas, bem como ao processamento por extrusão e à caracterização de matrizes poliméricas, tanto renováveis quanto convencionais, reforçadas com partículas e/ou fibras lignocelulósicas. Durante o doutorado, atuou no desenvolvimento e na caracterização microestrutural, física e mecânica de compósitos cimentícios reforçados com polpas celulósicas modificadas. Atualmente, é Professor Adjunto III na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). Atua nas áreas de Tecnologia de Produtos Florestais e Ciência da Madeira. E-mail: joabel.raabe@uemasul.edu.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0691322617405457>





Argel Costa de Souza

É graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). Atuou como bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) e de Extensão (PIBEXT), entre 2023 e 2024, com ênfase em Anatomia e Tecnologia da Madeira. Desenvolveu atividades como estagiário no Laboratório de Anatomia

e Tecnologia da Madeira da UEMASUL. Participou de pesquisas relacionadas à qualidade da madeira, rendimento e laminação de espécies amazônicas, além de colaborar na implantação da xiloteca do laboratório. E-mail: argelsousa.20200003162@uemasul.edu.br Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5364844897337258>

Jonathan Dias Marques

É Técnico em Florestas, formado pela Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará (EETEPA) Juscelino Kubitschek de Oliveira (2013–2016). Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) (2017–2022), possui mestrado em Ciências Florestais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF/UFRA) (2022–2024), com pesquisa voltada à qualidade da madeira para fins energéticos. Atualmente, é doutorando em Ciências Florestais pelo PPGCF/UFRA, com pesquisa focada na avaliação do



potencial de taninos de espécies amazônicas para a produção de adesivos utilizados na fabricação de painéis compensados. E-mail: jonathandiasmarques2015@gmail.com Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9638005957964191>



Felipe Alexandre Rizzo

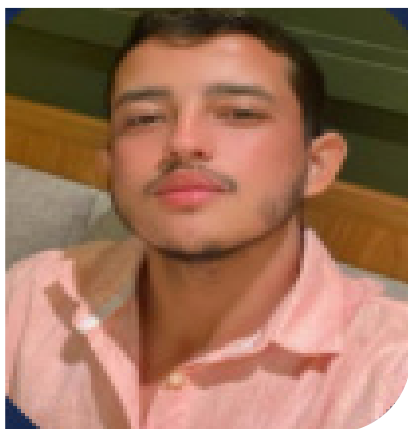
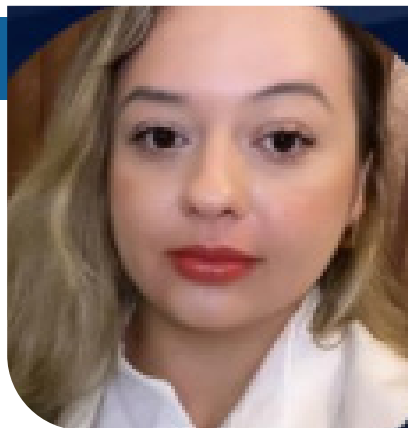
É natural do Rio de Janeiro e graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Possui mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente pela Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/FIOCRUZ) e doutorado em Ciências Ambientais pela

Universidade Estadual Paulista (UNESP). Atualmente, é Professor Efetivo Classe C nível 1 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Campus Açailândia, onde atua em atividades de ensino, pesquisa e extensão, com ênfase nas áreas de Recursos Florestais e Ciências Ambientais. Integra o grupo interdisciplinar de pesquisa AB'Saber. E-mail: feliperizzo@ifma.edu.br Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6993290367393041>

CAPÍTULO 4: USO DE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E DIGESTIBILIDADE APARENTE EM PEIXES: REVISÃO

Jéssica Antonia Cardoso Mendes

Atualmente doutoranda em Ciência Animal pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Possui graduação em Zootecnia e mestrado em Ciência Animal, com foco em temas voltados ao bem-estar e à nutrição de animais monogástricos. Ao longo de sua trajetória acadêmica, tem se dedicado especialmente à pesquisa aplicada à aquicultura, com ênfase na produção e no manejo nutricional de peixes. Seus estudos contribuem para o desenvolvimento de práticas sustentáveis e eficientes no setor aquícola, promovendo melhorias no desempenho produtivo e na qualidade de vida dos animais. Email: Jessica.cardoso.zootec@gmail.com



Thallynson Francelino

Emanoel

Graduando em Zootecnia na Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Ao longo de sua formação acadêmica, tem demonstrado interesse pelas áreas de nutrição, manejo e bem-estar animal, com foco em práticas sustentáveis e no desenvolvimento da produção animal. Motivado pela busca de conhecimento

e aprimoramento técnico, participa de atividades acadêmicas que visam fortalecer sua atuação futura como profissional da Zootecnia, contribuindo para a inovação e a eficiência no setor agropecuário.

Pedro Lucas Oliveira Rocha

Zootecnista pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Membro do grupo de estudos, pesquisas e extensão de Forragicultura e Pastagens no Maranhão (FOPAMA), coordenado pela Prof. Dra Rosane Cláudia Rodrigues, atuando nas seguintes linhas de pesquisas: Ecofisiologia de gramíneas tropicais, Manejo de conservação

de forragem, Adubação e Nutrição de plantas forrageiras, Avaliação de produção de forragem e Nutrição de ruminantes a pasto. Possui conhecimentos em forragicultura, nas subáreas: manejo e conservação de plantas forrageiras, morfofisiologia de gramíneas tropicais e análises laboratoriais na determinação da composição químico-bromatológicas de alimentos para ruminantes. Foi bolsista de iniciação científica - PIBIC/FAPEMA (2022 - 2023), e bolsista IC - PIBIC/CNPq (2023 - 2024).



Diego Amorim dos Santos

Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), é natural de Imperatriz, Maranhão, e dedica sua carreira ao avanço da ciência zootécnica e à inovação no ensino superior. Atualmente, é vice-coordenador do Núcleo de Estudos Morfofisiológicos

Avançados (NEMO), onde investiga a aplicação de novas tecnologias para a solução de desafios em sua área. É um entusiasta do uso da Inteligência Artificial e de ferramentas digitais, encarando-as como instrumentos essenciais para potencializar a pesquisa e tornar o ensino mais dinâmico e eficaz. Esta obra condensa sua sólida trajetória acadêmica e sua paixão pela inovação, oferecendo ao leitor um conteúdo que une a rigorosa base científica da Zootecnia com as possibilidades transformadoras da tecnologia.

Diego Carvalho Viana

Médico veterinário pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Mestrado em Ciência Animal, pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA/CCA), campus São Luís e Doutor em Ciências, pela Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP).



CAPÍTULO 5: USO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA PRODUÇÃO EM SEMI-CATIVEIRO DE HERMETIA ILLUCENS “MOSCA-SOLDADO NEGRA” E SEU USO NA PISCICULTURA



German Augusto Murrieta Morey

Biólogo egresado de la UNAP, con maestría en Biodiversidad, Ecología y Evolución en la universidad Georg-August, Goettingen-Alemania; con doctorado en el INPA, Manaus-Brasil, en Biología de Agua dulce y Pesca interior. Posee dos post doctorados: uno en la UFPR, Curitiba-Brasil

en taxonomía de parásitos monogenoideos y otra en la UEMA, Sao Luis-Brasil en parásitos con potencial zoonótico.

Joel Vásquez Bardales

Biólogo, maestro en ciencia con mención en desarrollo agrario sostenible y doctor en ambiente y desarrollo sostenible, egresado de la facultad de Ciencias Biológicas de la UNAP de Iquitos. Docente-investigador de la facultad de Ciencias Forestales en el departamento de Ecología y Conservación; con veinticinco años de experiencia en entomología amazónica,

he desarrollado la especialidad de entomología, con habilidades para realizar estudios de investigación científica en prospección, caracterización y aspectos biológicos de insectos plagas, y controladores biológicos de frutales amazónicos.





Luciano Alfredo Rodríguez Chu

Biólogo egresado de la UNAP, con maestría en Acuicultura, investigador en acuicultura amazónica, con de 20 años de experiencia, en nutrición, alimentación, reproducción y patología y transferencia de tecnología en el cultivo de en peces amazónicos.

Harvey Satalaya Arellano

Biólogo Acuicultor con Maestría en Acuicultura (UNAP). Más de 15 años de experiencia en acuicultura amazónica. Especialista en transferencia tecnológica acuícola. Integrante del proyecto ACUIPRO del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.





Diego Carvalho Viana

Formou-se em medicina veterinária pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Mestrado em Ciência Animal, pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA/CCA), campus São Luís e Doutor em ciências, pela Faculdade de Medicina Veterinária e

Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP).

CAPÍTULO 6: MERMÃS DIGITAIS: UMA ANÁLISE CIENTÍFICA SOBRE A INSERÇÃO DE MENINAS NAS STEAM NA REGIÃO TOCANTINA

Yasmin Milhomem de Oliveira

É bacharela em Ciência da Computação (2025) e pós-graduanda em Estratégias de Inovação, Propriedade Industrial e Prospecção Tecnológica pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (2025). Como servidora pública na área de Tecnologia da Informação, dedica-se ao desenvolvimento e implementação de soluções que promovem a inclusão digital

e potencializam o uso de tecnologias educacionais. Sua trajetória profissional é marcada pela combinação entre conhecimento técnico, pesquisa aplicada e um forte compromisso com o impacto social, especialmente na Região Tocantina do Maranhão, onde vive e atua. Email: yasmin.oliveira@uemasul.edu.br



Gabriel Vieira Lima

É técnico em informática formado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) Campus Imperatriz (2022) e graduando em Ciência da Computação na mesma instituição. Possui habilidades em UI/UX Design e é pesquisador ativo na linha de pesquisa em IHC (Interação Humano-Computador). Também possui atuações na extensão

universitária e em experiências práticas na gestão de projetos. Suas principais áreas de interesse são desenvolvimento de software, experiência do usuário e interfaces. Email: gabrielvieiracont@gmail.com

Aricelma Costa Ibiapina

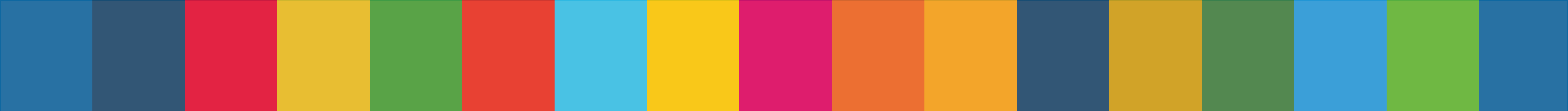
É professora de Educação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) desde 2010. Mestre em Educação pela Universidade Federal do Pará - UFPA (2014). Possui Graduação em Letras - Português/Inglês pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (2008) e Graduação em Pedagogia pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA (2002). Especialização em Mídias na Educação - UFMA (2012). Especialização em Metodologia do Ensino Superior - UEMA (2007). Especialização em Supervisão e Administração Escolar - UNIFIA (2006). Especialização em Supervisão Escolar - IPG CV&C (2005). Especialização em Língua Portuguesa - FIA (2003).



Simone Azevedo Bandeira de Melo de

É professora de Informática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) desde 2006. Possui graduação em Tecnologia em Processamento de Dados pelo Centro Universitário do Estado do Pará - CESUPA (2000) e mestrado em Engenharia de Eletricidade

e Ciência da Computação pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA (2007). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Engenharia de Software. Email: simonebandeira@ifma.edu.br



Este livro sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresenta os princípios da Agenda 2030 da ONU, abordando temas como educação, igualdade, meio ambiente e cidadania. Sua proposta dialoga com o compromisso da UEMASUL em promover uma formação crítica e transformadora, alinhada aos desafios globais e ao desenvolvimento regional, sendo uma ferramenta para projetos pedagógicos, ações extensionistas e práticas acadêmicas voltadas à sustentabilidade. A UEMASUL está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) por meio de projetos de ensino, pesquisa, extensão e inovação que promovem educação de qualidade, inclusão social e desenvolvimento regional. A universidade também foi reconhecida com o Selo ODS Educação 2025, reforçando seu compromisso com a Agenda 2030 da ONU.

