



VIII SEMANA DE
ESTUDOS FLORESTAIS

ANAIIS ESTUDOS FLORESTAIS-SEF



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão



VIII Semana de Estudos Florestais - **SEF**
Curso de Engenharia Florestal - UEMASUL



EDITORA
UEMASUL

2026

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.

S471a Semana de Estudos Florestais – SEF (8 : 2026 : Imperatriz)

Anais da VIII Semana de Estudos Florestais: a palmeira do babaçu, maio de 2026, Imperatriz / Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão Imperatriz: EDUEMASUL, 2026.

133 p. : il

ISBN 978-65-89274-71-1

1. Engenharia Florestal. 2. Babaçu. 3. Recursos florestais. I. Título. II. Imperatriz, MA.

CDU 634.61

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Kacio Micael Oliveira Vidal CRB13/988**



Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Reitora

Profa. Dra. Luciléa Ferreira Lopes Gonçalves

Vice-reitor

Prof. Dr. Jorge Diniz de Oliveira

Pró-reitora de Gestão e Sustentabilidade Acadêmica

Profa. Dra. Márcia Suany Dias Cavalcante

Pró-reitor de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação

Prof. Dr. Allison Bezerra Oliveira

Pró-reitor de Planejamento e Administração

Prof. Dr. José Sérgio de Jesus Salles

Pró-reitor de Extensão e Assistência Estudantil

Prof. Dr. José Milton Lopes Pinheiro

Pró-reitor de Gestão de Pessoas

Prof. Dr. Bruno Lucio Meneses Nascimento

Pró-reitor de Infraestrutura

Prof. Dr. Wilson Araújo da Silva

Organizadores

Roldão Carlos Andrade Lima

Quinny Soares Rocha

Vera Maria Gouveia

Avaliadores

Anne Caroline Guimarães Veloso

Antonio Paulo Wanderson Pinheiro Sousa

Bruno Barbosa Boás

Bruno Fernandes Veras

Diego Pereira de Melo

Diego Pereira Santos

Eiderson Silva Cabral

Evandro Ferreira Da Silva

Felipe Alexandre Rizzo

Gesiane Oliveira da Trindade

Kleber Sales Pereira

Lázaro Wandson de Nazaré Teles

Leandro Nascimento Santos

Letícia Karen Oliveira Carvalho

Maria Naruna Felix de Almeida

Paulo Cezar Gomes Pereira

Reysi Jhayne Pegorini

Suellen Alves de Azevedo

Timni Vieira

Valter Junior dos Santos Saldanha

Comissão Científica

Quinny Soares Rocha

Aroldo Francisco Miranda de Sousa

Felipe Dias Severo

Francielson Sousa Miranda

Sarah Gabrielle Barbosa do Nascimento

Diagramação

Jeciane da Silva Chaves

Capa

Eduardo da Conceição Jorge

SUMÁRIO

Eixo Temático: Manejo e Valorização do Babaçu

07

Protótipo inicial de sistema móvel com visão computacional embarcada para detecção e quantificação de frutos de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.)

08

Uso de drones no mapeamento e monitoramento de áreas de babaçu (*Attalea speciosa*) na silvicultura de precisão

14

Eixo Temático: Recursos Florestais

19

Acurácia e eficiência de sensores LiDAR na estimativa de parâmetros dendrométricos: uma revisão de literatura

20

Análise da Produção e Preços Reais de Carvão Vegetal no Maranhão: Tendência, Ciclo e Ruído em uma Série Histórica de 20 Anos (2004–2024)

26

Avaliação da Celulose no Maranhão: uma análise da série histórica dos preços e produção

32

Construção de um modelo didático de baixo custo para simulação do ciclo de motores 4 tempos

38

Correlação entre Severidade do Cancro do Córtex e Variáveis

42

Densidade a granel do coco babaçu para produção artesanal de carvão vegetal na Reserva Extrativista do Ciriaco, Cidelândia – MA

48

Desenvolvimento de um modelo didático para demonstração do funcionamento de motores de 2 tempos

53

Distribuição espacial das formações campestres no Cerrado do estado do Maranhão e sua relação com fatores ambientais da paisagem

58

Distribuição espacial das Unidades de Conservação Federais no Maranhão e sua relação com biomas e formações de cobertura da terra

64

Educação ambiental e letramento ecológico: o plantio de espécies do Cerrado no ensino fundamental

70

Estratégias de Amostragem do Fuste para a Determinação da Densidade Básica da Madeira de Eucalipto

75

Formações savânicas do Cerrado no Maranhão: distribuição espacial e caracterização ecológica	81
Históricos de manejo de pastagens e sua influência na fertilidade do solo e nos estoques de carbono em um ecótono Cerrado–Amazônia	87
O papel das terras quilombolas na conservação da biodiversidade no Maranhão	92
Potencial da Silvicultura de Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. Ex A. Juss.) Müll.Arg.) no Maranhão	98
Principais formações florestais Amazônicas Maranhenses	104
Protótipo didático para visualização do ciclo operacional do sistema de alimentação de combustível	110
Terras Indígenas no Maranhão: Organização Territorial e Contexto Atual	116
Uso de modelo artesanal na demonstração do funcionamento de motores rotativos	122
Variação de massa seca e umidade do coco babaçu para produção artesanal de carvão vegetal na Reserva Extrativista do Ciriaco, Cidelândia – MA	128



VIII SEMANA DE
ESTUDOS FLORESTAIS

EIXO TEMÁTICO: Manejo e Valorização do Babaçu



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão



Protótipo inicial de sistema móvel com visão computacional embarcada para detecção e quantificação de frutos de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.)

*Development of a mobile system with embedded computer vision for detection and quantification of babassu fruits (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) in the field*

COELHO, Gabriel de Sousa ¹; MARTINS, Guilherme Medeiros ²; PEREIRA, Guilherme dos Anjos Sobrinho ³; VIEIRA, Izabela Rabelo da Silva Vieira ⁴; ALMEIDA, Larissa Rodrigues de ⁵; LIMA, Roldão Carlos Andrade ⁶

¹ Uemasul, gabriel.coelho@uemasul.edu.br; ² Uemasul, guilherme.martins@uemasul.edu.br; ³ Uemasul, guilherme.pereira@uemasul.edu.br; ⁴ Uemasul, izabela.vieira@uemasul.edu.br; ⁵ Uemasul, larissa.almeida@uemasul.edu.br; ⁶ Uemasul, roldao.lima@uemasul.edu.br.

RESUMO

Este estudo objetivou desenvolver um aplicativo móvel com visão computacional embarcada para detecção e quantificação offline de frutos de babaçu (*Attalea speciosa*), visando apoiar o manejo extrativista. Metodologicamente, o sistema foi implementado em Kotlin, integrado à arquitetura YOLOv8 e ao ML Kit para processamento *on-device*, utilizando a biblioteca *CameraX* para captura de imagens. O aplicativo permite contagem automática, correção manual e exportação de dados em CSV. Os resultados indicaram funcionamento estável em campo, confirmando a viabilidade do processamento na borda em áreas sem conectividade. Observou-se que a oclusão em áreas densas gerou erros na estimativa com o modelo genérico, tornando o ajuste manual fundamental. Conclui-se que o sistema é funcional e atua como ferramenta de estruturação de banco de dados real. O treinamento futuro de um modelo específico com os dados coletados é a estratégia recomendada para elevar a acurácia da detecção.

Palavras-chave: Extrativismo vegetal; Softwares; Computação de borda.

INTRODUÇÃO

O babaçu (*Attalea speciosa*) é uma das principais palmeiras nativas do Brasil, com ampla ocorrência nas regiões Norte e Nordeste, especialmente na transição entre Amazônia e Cerrado, onde seu extrativismo organiza a vida econômica e cultural de comunidades tradicionais nessa faixa de transição (Porro, 2019). As florestas de babaçuais têm valor que vai além do comercial, abrangendo dimensões sociais, ambientais e patrimoniais, a coleta do coco babaçu é uma prática tradicional e essencial para essas populações, que utilizam a palmeira de diversas formas (Saraiva *et al.*, 2025).

A variabilidade entre populações e indivíduos de babaçu dificulta a padronização de métodos de estimativa de produção, refletindo-se em diferenças de porte, produtividade e características dos frutos e amêndoas. Além disso, frutos mais pesados não indicam, necessariamente, maior quantidade de amêndoas, o que limita

a confiabilidade de avaliações baseadas apenas em atributos externos observáveis em campo (Guimarães *et al.*, 2009).

A contagem manual de frutos realizada em campo caracteriza-se como uma atividade intensiva em mão de obra e sujeita a imprecisões, sobretudo em cenários com elevada densidade de objetos, acúmulo de serrapilheira e ocorrência de oclusão entre os frutos. Essas limitações reduzem a confiabilidade dos dados obtidos, impactando negativamente as análises de produtividade e o planejamento do manejo extrativista (Lemos; De Souza, 2018).

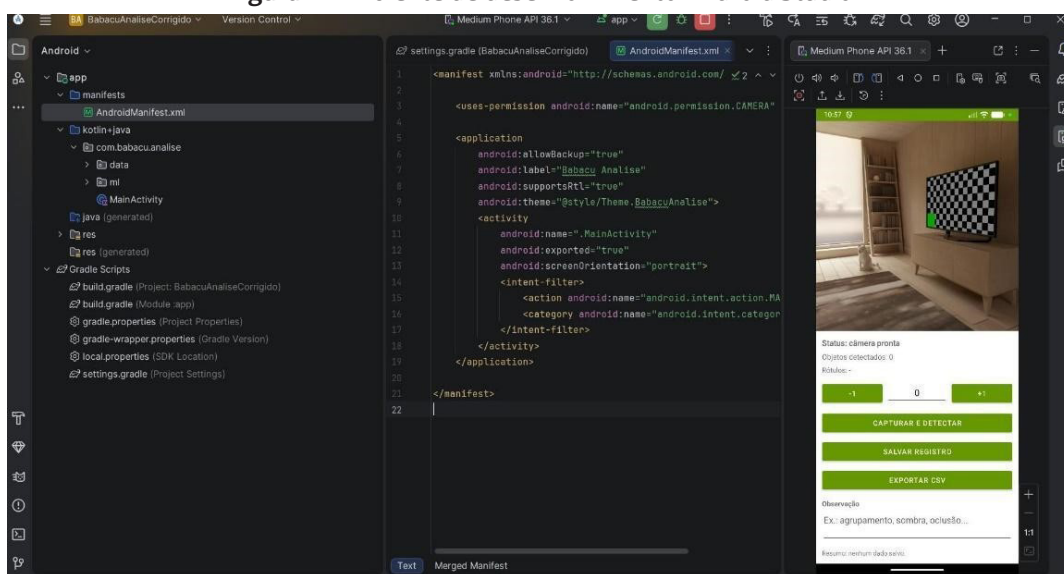
Nesse contexto, tecnologias baseadas em visão computacional e aprendizado de máquina destacam-se como alternativas promissoras para a automação da detecção e quantificação de objetos em ambientes agrícolas e florestais. Dentre os modelos utilizados, sobressai a arquitetura YOLO (You Only Look Once), caracterizada pela detecção em tempo real e elevada eficiência computacional (Ali *et al.*, 2024). Evidências recentes indicam ampla aplicação dessa abordagem na agricultura de precisão, com elevados níveis de acurácia na identificação de frutos e estruturas vegetais (Badgujar *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, destaca-se a necessidade de integrar a coleta de dados em campo ao treinamento progressivo de modelos de detecção. Assim, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de visão computacional embarcado para detecção e quantificação de frutos de babaçu, a fim de ampliar a robustez e a aplicabilidade prática no extrativismo florestal.

METODOLOGIA

O presente estudo consistiu na utilização de um aplicativo móvel para detecção e análise de objetos em campo, com funcionamento offline. O sistema foi implementado em Kotlin, integrado ao modelo YOLOv8, utilizando o Android Studio como ambiente de desenvolvimento (Figura 1).

Figura 1. Ambiente de desenvolvimento Android Studio



Fonte: Autores (2026).

A captura de imagens foi realizada por meio da biblioteca CameraX, enquanto o processamento utilizou a classe Bitmap para conversão e preparação dos dados. A detecção e a contagem de objetos foram executadas com o ML Kit diretamente no dispositivo (on-device), dispensando a necessidade de conexão com a internet.

O fluxo operacional do sistema compreendeu as etapas de captura da imagem, pré-processamento, inferência do modelo e exibição dos resultados ao usuário, conforme ilustrado na Figura 2. Após a detecção automática, o aplicativo permitiu a validação e correção manual das contagens, com o objetivo de reduzir erros associados a oclusões e aumentar a confiabilidade dos dados coletados em campo.

Figura 2 . Fluxo de operação do sistema de detecção e análise de objetos em campo



Fonte: Autores (2026).

O aplicativo permitiu a validação manual dos resultados pelo usuário, com o objetivo de aumentar a confiabilidade das análises. Os dados gerados foram armazenados localmente no dispositivo e puderam ser exportados em formato CSV para análises posteriores.

A interface foi desenvolvida em XML, e o gerenciamento das tarefas foi realizado com o uso de Coroutines, garantindo execução assíncrona e melhor desempenho do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos testes iniciais realizados, o sistema desenvolvido apresentou funcionamento estável em nível de protótipo, permitindo a captura e o processamento de imagens diretamente no dispositivo móvel, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Interface do aplicativo durante a captura de imagens em campo



Fonte: Autores (2026).

10

Esse comportamento confirmou a viabilidade preliminar do uso de aplicações embarcadas em atividades de campo, especialmente em ambientes florestais com baixa disponibilidade de infraestrutura tecnológica, conforme observado em estudos recentes sobre arquiteturas descentralizadas na agricultura digital (Gong *et al.*, 2025).

A execução do processamento de forma local, sem necessidade de conexão com a internet, mostrou-se adequada para áreas de babaçuais, onde a conectividade é limitada. Essa característica foi considerada essencial em aplicações voltadas ao meio rural, pois o processamento na borda aumentou a autonomia operacional e viabilizou a tomada de decisão rápida em condições reais de laboratório (Gong *et al.*, 2025).

As imagens foram processadas por um modelo embarcado, responsável pela detecção e estimativa automática dos elementos. Em áreas com alta densidade, a oclusão comprometeu a identificação individual, gerando erros de contagem. Esse comportamento é recorrente em cenários densos, sobretudo na ausência de treinamento específico (Xiao *et al.*, 2023).

Para contornar essas limitações, o protótipo permitiu a correção manual da contagem pelo usuário, recurso que se mostrou essencial durante os testes. A possibilidade de ajuste manual contribuiu para aumentar a confiabilidade dos dados coletados, especialmente em ambientes com alta variabilidade visual.

O sistema demonstrou capacidade de armazenar e estruturar os dados coletados, formando um banco organizado para uso posterior. A exportação em

formato CSV facilitou análises e o treinamento de modelos, sendo a qualidade dos dados determinante para o desempenho sob restrições de hardware (Yu *et al.*, 2026).

De modo geral, os resultados indicaram que o protótipo desenvolvido foi funcional e potencialmente aplicável para a coleta de dados em babaçuais, mesmo utilizando um modelo de detecção genérico. As limitações observadas estiveram relacionadas principalmente à ausência de um modelo treinado especificamente para frutos de babaçu e ao estágio ainda inicial de desenvolvimento do sistema.

A estratégia adotada, baseada na coleta de dados reais para posterior treinamento de um modelo especializado, esteve alinhada com abordagens recentes que indicam maior robustez de modelos quando treinados com dados heterogêneos obtidos diretamente sob fundos não estruturados em condições laboratoriais (Tang *et al.*, 2023).

CONCLUSÕES

Portanto, conclui que o sistema móvel offline evidenciou viabilidade técnica na aquisição, análise e organização de dados em áreas de babaçuais, apesar das limitações associadas à complexidade do ambiente florestal. A principal contribuição consiste na estruturação de um banco de dados contínuo, permitindo a geração de séries históricas e subsidiando o monitoramento produtivo e o planejamento extrativista. Ademais, a perspectiva de treinamento de um modelo específico tende a ampliar a acurácia e a aplicabilidade da ferramenta em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. L.; ZHANG, Z. The YOLO framework: A comprehensive review of evolution, applications, and benchmarks in object detection. **Computers**, v. 13, n. 12, p. 336. 2024.

BADGUJAR, C. M.; POULOSE, A.; GAN, H. Agricultural object detection with You Only Look Once (YOLO) Algorithm: A bibliometric and systematic literature review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 223, p. 109090, 2024.

GUIMARÃES, A. R. C.; DE SOUZA, V. A. B.; COSTA, M.; DE ARAÚJO, E. S.; SOUSA, J. P. B.; GOMES, S. O.; MEIO-NORTE, E. **Características físicas de frutos e amêndoas de diferentes acessos de babaçu (Orbignya phalerata Mart.)**. 2009.

GONG, R.; ZHANG, H.; LI, G.; HE, J. Edge computing-enabled smart agriculture: Technical architectures, practical evolution, and bottleneck breakthroughs. **Sensors**, v. 25, n. 17, p. 5302, 2025

LEMONS, J. J. S.; DE SOUZA, R. C. Sistemas agroextrativistas como alternativa de preservação da palmeira de babaçu no Maranhão. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 82-82, 2018.

PORRO, R. A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas**, v. 14, p. 169-188, 2019.

SARAIVA, A. F. S.; DE OLIVEIRA, N. M.; FILOCREÃO, A. S. M.; LOPES, W. S. Extrativismo do babaçu: Análise dos atores locais na atividade extrativista no estado do Tocantins: Analysis of local actors in extractive activity in the estate of Tocantins. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 21, n. 2, 2025.

TANG, Y.; QIU, J.; ZHANG, Y.; WU, D.; CAO, Y.; ZHAO, K.; ZHU, L. Optimization strategies of fruit

detection to overcome the challenge of unstructured background in field orchard environment: A review. **Precision Agriculture**, v. 24, n. 4, p. 1183-1219, 2023.

XIAO, F.; WANG, H.; XU, Y.; ZHANG, R. Fruit detection and recognition based on deep learning for automatic harvesting: An overview and review. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1625, 2023.

YU, Y.; XUAN, J.; SHI, S.; TENG, X.; XU, S.; TONG, G. Confident Learning for Object Detection under Model Constraints. **arXiv preprint arXiv:2601.11640**, 2026.

Uso de drones no mapeamento e monitoramento de áreas de babaçu (*Attalea speciosa*) na silvicultura de precisão

Use of drones for mapping and monitoring babassu palm (Attalea speciosa) areas in precision forestry.

SILVA, Camylle Vieira Brito da¹; ARAÚJO, Daniel Brito ²; SANTOS, Rafael Silva dos³; FIGUEIREDO, Fernando Silva⁴; LIMA, Roldão Carlos Andrade⁵

¹Uemasul, camylle.silva@uemasul.edu.br; Uemasul; ²Uemasul, daniel.araujo@uemasul.edu.br;

³Uemasul, rafael.s.santos@uemasul.edu.br; ⁴Uemasul, fernando.figueiredo@uemasul.edu.br;

⁵Uemasul, roldao.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar o potencial do uso de drones no mapeamento e monitoramento de áreas de babaçu (*Attalea speciosa*) no contexto da silvicultura de precisão. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica sistemática, com levantamento de publicações científicas entre 2016 e 2026. Os resultados demonstraram que os drones possibilitam a obtenção de imagens de alta resolução, favorecendo a identificação de indivíduos, a estimativa de densidade e o monitoramento ambiental, além de ampliarem a eficiência dos inventários florestais quando associados à inteligência artificial. Também foram observadas limitações relacionadas à sobreposição de copas, às condições climáticas e aos custos operacionais. Conclui-se que essa tecnologia apresenta elevado potencial para o manejo sustentável de babaçuais, contribuindo para maior eficiência, redução de custos e apoio à tomada de decisão.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Silvicultura de precisão; Extrativismo florestal.

INTRODUÇÃO

A silvicultura de precisão tem se consolidado como uma importante abordagem tecnológica para otimização do manejo florestal, baseada na coleta e interpretação de dados espaciais que subsidiam a tomada de decisão. Nesse contexto, os veículos aéreos não tripulados (VANTs), ou drones, destacam-se pela obtenção de imagens em alta resolução, permitindo o monitoramento da cobertura vegetal, a identificação de padrões espaciais e o acompanhamento de alterações na paisagem. Segundo Pérez-Carrasco *et al.* (2023), essa tecnologia tem ampliado significativamente a capacidade de monitoramento florestal, especialmente em atividades como inventário indireto e identificação de indivíduos arbóreos.

No Brasil, *Attalea speciosa* apresenta elevada relevância ecológica, econômica e social, com destaque para a Mata dos Cocais e o estado do Maranhão. Santos *et al.* (2018) relatam ampla distribuição da espécie em cerca de 200.000 km² de áreas de floresta e savana, além de expressiva ocorrência em ambientes secundários. Além de sua importância ambiental, o babaçu possui grande valor socioeconômico para comunidades extrativistas, sendo um dos principais produtos florestais não

madeireiros do país. Paixão (2021) também destaca sua versatilidade em aplicações industriais e biotecnológicas, reforçando a necessidade de estudos voltados ao monitoramento e manejo sustentável da espécie.

Apesar de sua relevância, o monitoramento de áreas com ocorrência de *A. speciosa* ainda enfrenta desafios relacionados à heterogeneidade espacial dos babaçuais, à distribuição irregular dos indivíduos e à grande extensão das áreas ocupadas. Métodos convencionais demandam elevado tempo e custos, especialmente em áreas extensas ou de difícil acesso. Nesse cenário, os drones surgem como alternativa promissora, pois possibilitam a geração de produtos cartográficos de alta resolução, favorecendo o mapeamento e o acompanhamento da regeneração natural. Conforme Santos et al. (2018), técnicas de sensoriamento remoto já demonstram potencial para estimar a densidade populacional do babaçu.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo discutir os desafios do monitoramento de babaçuais, analisar o potencial e as vantagens do uso de drones, bem como avaliar suas limitações e perspectivas de aplicação em sistemas extrativistas, contribuindo para a compreensão do manejo sustentável de áreas com *A. speciosa*.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo qualitativo, de caráter exploratório, desenvolvido por meio de revisão bibliográfica sistemática e análise documental. O delineamento metodológico teve como objetivo reunir e sintetizar o conhecimento atual sobre a aplicação da silvicultura de precisão e o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) no contexto dos babaçuais (*A. speciosa*), com foco em sua viabilidade técnica e nos desafios operacionais.

A coleta de dados foi realizada em bases científicas e repositórios institucionais, com destaque para Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES e Embrapa, utilizando descritores em português e inglês, como “silvicultura de precisão”, “babaçu”, “sensoriamento remoto”, “drones” e “manejo extrativista”. Foram priorizadas publicações entre 2016 e 2026, contemplando inovações recentes relacionadas a drones e sensores, além de estudos fundamentais sobre a ecologia do babaçu. O material selecionado foi submetido à análise de conteúdo, organizado em três eixos temáticos: potencial dos drones frente aos inventários tradicionais, características morfológicas do babaçu favoráveis ao mapeamento aéreo e barreiras socioeconômicas e regulatórias para adoção da tecnologia.

Foram incluídos artigos originais, revisões e relatórios técnicos relacionados ao uso de drones em florestas tropicais ou à caracterização estrutural de babaçuais, sendo excluídos estudos sem relação com o contexto regional ou voltados exclusivamente a plantios homogêneos. Na etapa final, as informações foram triadas e categorizadas para subsidiar a base conceitual, os métodos de monitoramento e as limitações técnicas e operacionais discutidas neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico resultou em 15 referências, sendo 13 artigos científicos, 01 trabalho publicado em anais de eventos científicos, além de 2

publicações técnicas institucionais. Observou-se predominância de materiais de origem brasileira, correspondendo a aproximadamente 67% do total, com ênfase em estudos desenvolvidos por instituições nacionais e periódicos científicos do país.

A literatura recente evidencia que a silvicultura de precisão vem se consolidando como um campo em expansão, impulsionado pelo avanço do sensoriamento remoto, geoprocessamento e automação aplicados ao setor florestal. Em revisão global, Vatandaslar *et al.* (2025) observaram que as pesquisas se concentram principalmente no manejo e planejamento florestal, com destaque para o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) e sistemas LiDAR. Os autores ressaltam que, desde a década de 2010, houve crescimento expressivo das aplicações de drones em levantamentos florestais, especialmente em inventários, mapeamento da cobertura vegetal e monitoramento ambiental, em razão da alta resolução espacial e da flexibilidade operacional.

De forma convergente, Liu *et al.* (2024) destacam que os drones vêm sendo incorporados à silvicultura de precisão no monitoramento de recursos florestais, detecção de pragas, prevenção de incêndios e apoio ao manejo.

No contexto brasileiro, observa-se que *A speciosa* ocupa posição estratégica entre as espécies florestais nativas de interesse socioeconômico, especialmente na região da Mata dos Cocais. A espécie apresenta ampla ocorrência nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará, predominando em áreas de transição entre Cerrado e Amazônia, frequentemente associada a ambientes secundários e sistemas sob influência antrópica. Essa ampla distribuição e elevada capacidade de regeneração favorecem a formação de extensos babaçuais heterogêneos.

Sob a perspectiva socioeconômica, a literatura destaca o babaçu como um dos principais produtos florestais não madeireiros do país, com forte relevância para sistemas extrativistas e para a manutenção econômica de comunidades tradicionais, sobretudo no Maranhão. Paixão (2021) resalta que o aproveitamento integral do fruto (óleo, mesocarpo, endocarpo e fibras) amplia sua inserção em cadeias produtivas alimentícias, energéticas, farmacêuticas e industriais. Esse cenário reforça a necessidade de tecnologias voltadas ao monitoramento e manejo dessas áreas, destacando o elevado potencial dos drones em função da heterogeneidade estrutural dos babaçuais.

Os babaçuais apresentam elevada heterogeneidade estrutural e distribuição irregular dos indivíduos, o que dificulta a aplicação de métodos tradicionais de monitoramento e reduz a precisão das estimativas dendrométricas, tornando o inventário florestal convencional menos eficiente (Souza *et al.*, 2018). Outro desafio relevante está relacionado à ampla extensão e, frequentemente, ao difícil acesso das áreas de ocorrência dos babaçuais. O levantamento de dados em campo demanda elevado custo operacional, grande esforço de mão de obra e tempo, reduzindo a frequência e a viabilidade do monitoramento contínuo. Paralelamente, o uso de imagens de satélite apresenta limitações quanto à resolução espacial e à interferência de fatores atmosféricos, como a cobertura de nuvens, dificultando a identificação individual das palmeiras e a análise detalhada da vegetação (Asner, 2009). Assim, os métodos tradicionais mostram-se insuficientes, enquanto os drones se destacam como alternativa promissora para o manejo mais eficiente.

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) no monitoramento de babaçuais (*A. speciosa*) representa um avanço significativo para a silvicultura de

precisão em regiões de transição no Brasil. A aplicação de drones permite a obtenção de dados em alta resolução temporal e espacial, superando as limitações de imagens de satélite convencionais, que muitas vezes sofrem com a cobertura de nuvens frequente em áreas tropicais (Sano *et al.*, 2019). No entanto, a implementação eficaz dessa tecnologia exige a superação de gargalos técnicos relacionados à arquitetura da planta e ao processamento de grandes volumes de dados (Mendonça *et al.*, 2021).

A viabilidade do uso de drones em babaçuais foi impulsionada pelo desenvolvimento de softwares baseados em inteligência artificial e aprendizado profundo (deep learning). O projeto MacView, desenvolvido pela Embrapa Agroenergia, demonstrou ser tecnicamente viável para a identificação e contagem automática de palmeiras de macaúba e babaçu utilizando imagens RGB obtidas por drones (Embrapa, 2021). Segundo Mendonça *et al.* (2021), o uso de redes neurais convolucionais (CNN) para processar imagens de VANTs alcançou altos índices de precisão na detecção de palmeiras, tornando o inventário florestal significativamente mais rápido e menos oneroso do que os levantamentos censitários manuais realizados em solo.

O mapeamento preciso das áreas de ocorrência de babaçu é fundamental para o ordenamento territorial e para o cumprimento da “Lei do Babaçu Livre”, garantindo o acesso das comunidades extrativistas às áreas produtivas. A tendência futura aponta para o uso dessas ferramentas não apenas na contagem de indivíduos, mas no monitoramento fitossanitário e na modelagem de sequestro de carbono, inserindo o extrativismo do babaçu em cadeias globais de valor sustentável (Embrapa, 2021).

O uso de drones apresenta grande potencial para o manejo sustentável do babaçu, sobretudo por permitir a aplicação de conceitos de agricultura de precisão em áreas extrativistas e agroflorestais. Esses sistemas possibilitam o monitoramento aéreo detalhado da vegetação, gerando dados em tempo real sobre a saúde das plantas, densidade dos babaçuais e variabilidade espacial, o que auxilia no planejamento do manejo e na tomada de decisão baseada em evidências. (Alarcão e Nuñez, 2023). Em regiões com babaçu, muitas vezes de difícil acesso, essa tecnologia se destaca por ampliar a capacidade de observação sem necessidade de intervenção direta no ambiente.

Os drones também contribuem para o monitoramento ambiental e a conservação dos babaçuais, permitindo a identificação precoce de pragas, doenças e degradação da vegetação, com intervenções mais rápidas e eficazes, essenciais à sustentabilidade do extrativismo do babaçu (Gonçalves e Cavachioli, 2021).

Por fim, destaca-se o potencial dos drones para promover maior acessibilidade e segurança nas atividades rurais. Eles conseguem operar em áreas extensas ou de difícil locomoção, comuns em regiões de ocorrência do babaçu, além de reduzir a exposição dos trabalhadores a riscos durante atividades como pulverização (Embrapa, 2023). Dessa forma, a tecnologia fortalece a produtividade e a sustentabilidade socioambiental das cadeias produtivas do babaçu.

CONCLUSÕES

O uso de drones no monitoramento de áreas de babaçu demonstra elevado potencial para aplicação na silvicultura de precisão, especialmente pela capacidade de gerar dados espaciais detalhados e atualizados. A tecnologia contribui para superar

limitações dos métodos tradicionais, permitindo maior eficiência no inventário, no acompanhamento da vegetação e no planejamento do manejo. Apesar de desafios técnicos e operacionais, os avanços em sensores e inteligência artificial tendem a ampliar sua aplicabilidade. Dessa forma, os drones se consolidam como ferramenta estratégica para o manejo sustentável e a valorização dos sistemas extrativistas associados ao babaçu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÃO, F.; NUÑEZ, J. O uso de drones na agricultura 4.0: aplicações e perspectivas. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 9, 2023.

ASNER, G. P. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 3, p. 034009, 2009.

EMBRAPA. **MacView: software para identificação e contagem automática de plantas de macaúba e babaçu**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2021.

EMBRAPA. **Tecnologias com drones para o monitoramento agrícola e florestal**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

GONÇALVES, R. S.; CAVACHIOLI, F. A. Aplicação de drones no monitoramento agrícola: revisão de literatura. **Interface Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 1–12, 2021.

LIU, Y. et al. Application and development of unmanned aerial vehicles in forestry: a review. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 17, n. 1, p. 1–14, 2024.

MENDONÇA, R. S. et al. Identification and counting of macauba palms using deep learning and RGB images from unmanned aerial vehicles. **Remote Sensing**, v. 13, n. 10, 2021.

PAIXÃO, L. C. Aplicações farmacêuticas e bioprodutos do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng): revisão. **Revista de Ciências da Saúde**, v. 21, n. 2, p. 35–44, 2021.

PÉREZ-CARRASCO, M. et al. Precision silviculture: use of UAVs and comparison of deep learning models for the identification and segmentation of tree crowns in pine crops. **International Journal of Remote Sensing**, v. 44, n. 6, p. 2223–2238, 2023.

SANO, E. E. et al. Estimating the spatial distribution of babassu palms in the Brazilian Cerrado using object-based image analysis and VANT imagery. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

SANTOS, J. R. et al. Estimating babassu palm density using automatic palm tree detection with very high spatial resolution satellite images. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 1119–1131, 2018.

SOUZA, C. R. et al. Inventário florestal em formações nativas: desafios e perspectivas. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, p. e420105, 2018.

TEODORO, L. P. R. et al. UAV-based multiband phenotyping for detecting genetic variations in tropical crops. **Frontiers in Plant Science**, 2021.

VATANDASLAR, C. et al. Precision forestry: a comprehensive bibliometric review of remote sensing technologies and applications. **Remote Sensing**, v. 17, n. 20, p. 3465, 2025.



VIII SEMANA DE
ESTUDOS FLORESTAIS

EIXO TEMÁTICO: Recursos Florestais



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão



Acurácia e eficiência de sensores LiDAR na estimativa de parâmetros dendrométricos: uma revisão de literatura

Accuracy and efficiency of LiDAR sensors in estimating dendrometric parameters: a literature review

LIÁ, Filipe Silva¹; CARDOSO, Júlio César²; LIÁ, Sara de Lima Silva³; MACHADO, Sebastião Silva⁴; LIMA, Roldão Carlos Andrade⁵

¹ Uemasul, felipe.lia@uemasul.edu.br; ² Uemasul, julio.silveira@uemasul.edu.br; ³ Uemasul, sara.lia@uemasul.edu.br; ⁴ Uemasul, sebastiao.silva.machado@uemasul.edu.br; ⁵ Uemasul, roldao.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

Esta revisão bibliográfica objetivou examinar o potencial dos sensores LiDAR como substitutos ou complementos aos inventários de campo, focando na confiabilidade dos dados de diâmetro e altura e no impacto na agilidade dos processos. A metodologia consistiu em um levantamento em bases de dados como Google Acadêmico, ScienceDirect e SciELO, selecionando publicações dos últimos 10 anos. Os resultados indicam que o LiDAR permite a estimativa direta da altura total e, via algoritmos de *machine learning*, do diâmetro e volume com erros inferiores a 6%. Dessa forma, a tecnologia valida sua eficiência operacional e acurácia, consolidando-se como uma ferramenta estratégica para a agilidade e precisão nos processos de monitoramento da silvicultura de precisão.

19

Palavras-chave: Inventário Florestal; Silvicultura de Precisão; Sensoriamento Remoto.

INTRODUÇÃO

O setor florestal demanda informações cada vez mais precisas e abrangentes para subsidiar o planejamento e a tomada de decisões. Entretanto, os métodos convencionais de inventário florestal apresentam limitações relacionadas ao tempo de coleta, custos operacionais e dificuldade de obtenção de dados em grandes áreas. Nesse contexto, a silvicultura de precisão surge como uma alternativa capaz de otimizar a aquisição e o processamento de informações florestais por meio do uso de tecnologias avançadas de sensoriamento remoto.

Dentre essas tecnologias, o LiDAR (*Light Detection and Ranging*) se destaca por gerar nuvens de pontos tridimensionais a partir da emissão de pulsos laser, possibilitando a representação detalhada da estrutura florestal (Barros *et al.*, 2023). A qualidade do LiDAR reside na confiabilidade com que estima variáveis dendrométricas essenciais, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total, além de reduzir significativamente os erros quando comparado às medições manuais realizadas em campo (Gan *et al.*, 2024).

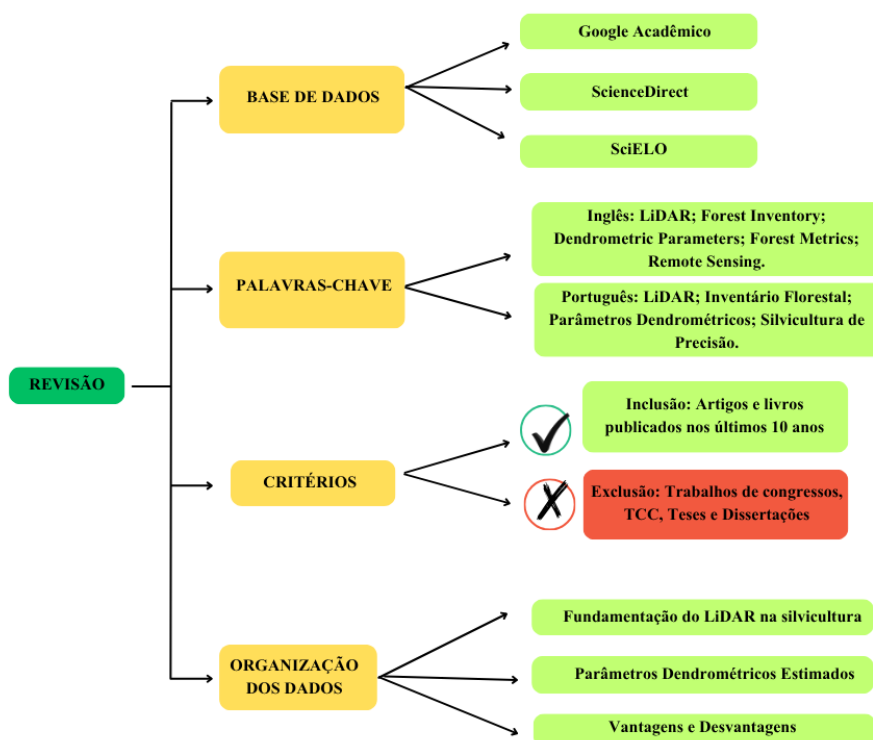
Essa tecnologia permite estimar variáveis dendrométricas e superar limitações dos inventários tradicionais baseados em parcelas amostrais (Coops *et al.*, 2021; Wulder *et al.*, 2020). Atualmente, a integração entre os inventários florestais convencionais e a tecnologia LiDAR tem impulsionado avanços significativos na área.

Dessa forma, este estudo objetiva avaliar a acurácia e a eficiência do LiDAR na estimativa de parâmetros dendrométricos, identificando suas principais limitações, potencialidades e contribuições para a otimização dos processos de monitoramento florestal, por meio de uma revisão de literatura.

METODOLOGIA

A revisão seguiu etapas (Figura 1) que sintetizam os procedimentos de coleta, organização e processamento dos dados, bem como a análise das informações, visando o embasamento científico dos resultados obtidos.

Figura 1. Fluxograma das etapas realizadas para elaboração da revisão

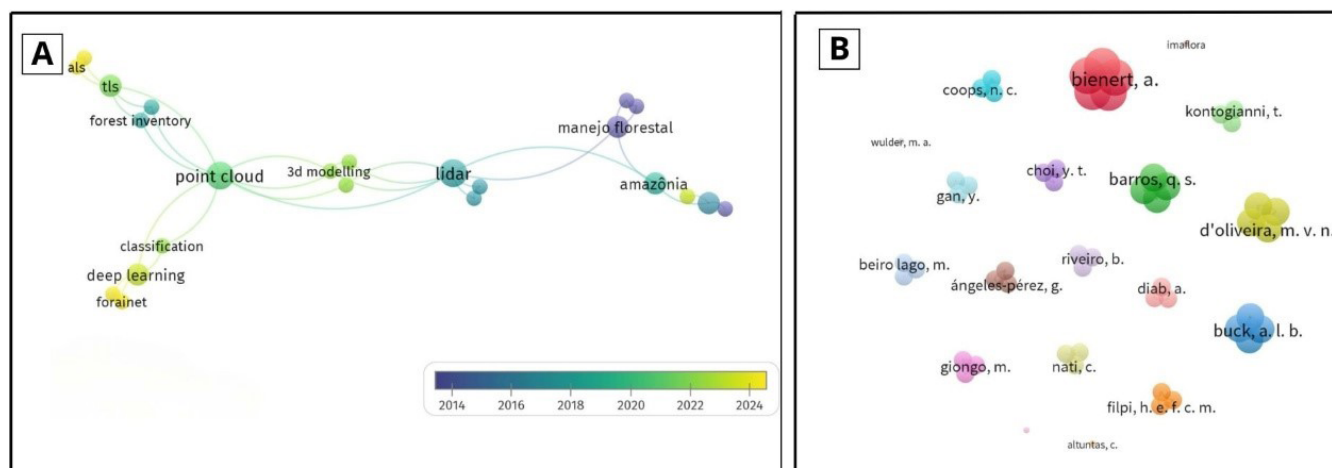


Fonte: Os autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliométrica dos termos utilizados nesta revisão revela uma evolução temporal clara no uso da tecnologia (Figura 2-A). Enquanto termos como “LiDAR” e “Manejo Florestal” consolidaram-se entre 2014 e 2018, observa-se uma tendência recente (2022–2024) voltada para aplicações de *Deep Learning* e redes específicas como a *Forainet*. Além disso, a rede de citações destaca clusters de pesquisadores fundamentais, como Bienert, A. e Barros, Q. S. (Figura 2-B).

Figura 2. Análise bibliométrica de termos (A) e rede de citações de autores (B)



Fonte: Autores (2026).

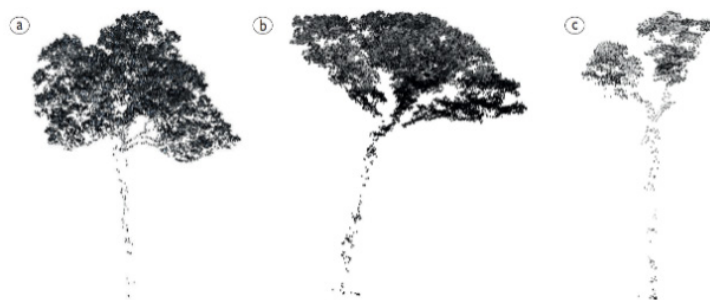
Fundamentação do LiDAR na silvicultura de precisão

A tecnologia LiDAR utiliza pulsos de laser e o método *Time of Flight* para gerar nuvens de pontos tridimensionais (Giongo *et al.*, 2010; Altuntas, 2022), permitindo que sistemas terrestres estáticos (TLS) ou móveis (MLS) mapeiem geometrias complexas e estimem variáveis florestais com alta precisão (Diab *et al.*, 2022; D'oliveira *et al.*, 2014; Soilán *et al.*, 2019; Bienert *et al.*, 2018; Buck *et al.*, 2017).

Parâmetros Dendrométricos Estimados

O LiDAR permite estimar diretamente a altura total das árvores (H) pela diferença entre o topo do dossel e o solo, sendo esta uma das variáveis mais precisas e base para outras inferências (Galeote-Leyva *et al.*, 2022). Essa tecnologia possibilita, ainda, estimar a densidade arbórea e a área basal (AB) por meio do isolamento de copas e modelos estatísticos, o que viabiliza a identificação da estrutura tridimensional da floresta (Figueiredo *et al.*, 2014). Nesse sentido, a alta acurácia do sensor em inventários florestais deriva de sua capacidade excepcional de capturar a vegetação por meio de nuvens de pontos detalhadas, representando com fidelidade diversos atributos biofísicos. Conforme ilustrado na Figura 3, a nuvem de pontos permite identificar a estrutura tridimensional da floresta, possibilitando o isolamento de árvores individuais.

Figura 3. Isolamento de árvores individuais a partir da nuvem de pontos LiDAR



Fonte: Figueiredo *et al.* (2014).

Embora o diâmetro à altura do peito (DAP) não seja medido diretamente por sensores aerotransportados, ele pode ser estimado via relações alométricas e algoritmos de aprendizado de máquina, como *Random Forest* e *XGBoost*. Essa integração permite que modelos de *machine learning* processem variáveis da nuvem de pontos, como altura e volume da copa, para estimar o diâmetro com elevada acurácia. Essa abordagem, somada à representação tridimensional do LiDAR, aumenta a confiabilidade das estimativas de volume de madeira (IMAFLOA, 2026) e de biomassa acima do solo (AGB), reduzindo a necessidade de métodos destrutivos ao capturar relações complexas entre variáveis estruturais (Choi et al., 2025).

Quando integrada a dados de campo e modelos estatísticos, essa tecnologia apresenta erros inferiores a 6% para variáveis como área basal, volume e biomassa, com coeficientes de determinação (R^2) que podem superar 0,90 em estimativas volumétricas (Galeote-leyva et al., 2022; Figueiredo et al., 2014). A combinação de diferentes plataformas, como 5a terrestre (TLS) e a aerotransportada, torna o uso do sensor ainda mais preciso, pois fornece informações estruturais complementares, contudo, a confiabilidade dos resultados pode ser influenciada por fatores como a frequência de retornos, a ocorrência de oclusões em florestas muito densas e a complexidade da fitofisionomia florestal analisada (Molina-Valero et al., 2025).

Vantagens e Desvantagens

O uso do LiDAR otimiza a mensuração florestal ao capturar a estrutura tridimensional da vegetação, permitindo estimar volumes de fuste e biomassa com alta precisão, especialmente quando integrado a técnicas de *machine learning* (Figueiredo et al., 2014; Choi et al., 2025). A viabilidade econômica e a eficiência operacional são favorecidas pela utilização de uma densidade de pontos adequadas aos objetivos do inventário, permitindo estimativas precisas sem gerar custos excessivos de aquisição e processamento dos dados. Além disso, o uso de dispositivos móveis reduz o tempo de campo, enquanto técnicas de *deep learning* automatizam etapas do processamento das nuvens de pontos (Galeote-Leyva et al., 2022; Morocho Toaza et al., 2025; Xiang et al., 2024).

Essa aplicabilidade estende-se ao mapeamento de palmeiras e estimativas de peso de madeira (Filpi et al., 2026; López-Amoedo et al., 2023), embora o Imaflora (2026) ressalte a necessidade de modelos híbridos com validação de campo devido a barreiras regulatórias. Dessa forma, o Quadro 1 sintetiza as principais vantagens e desvantagens do uso do LiDAR na estimativa de parâmetros dendrométricos.

Quadro 1. Vantagens e Desvantagens do LiDAR na Estimativa de Parâmetros Dendrométricos.

Aspecto	Vantagens	Desvantagens
Acurácia	Alta precisão; melhor modelagem; dados 3D	Oclusão; sub-bosque; variáveis limitadas
Eficiência	Rapidez; menor esforço; grande cobertura	Processamento complexo; expertise
Amostragem	Menos parcelas; alta eficiência estatística	Dependência de calibração
Mensuração	Estrutura do dossel; múltiplos parâmetros	Ruído; densidade de pontos
Escala/Custo	Larga escala; menor custo operacional	Alto custo inicial; infraestrutura

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

CONCLUSÕES

O LiDAR apresenta elevada confiabilidade na estimativa de parâmetros dendrométricos, especialmente altura e variáveis derivadas. Sua integração com modelos estatísticos e dados de campo potencializa a acurácia e reduz a necessidade de medições manuais intensivas. Dessa forma a tecnologia se consolida como ferramenta estratégica para a modernização dos inventários florestais, contribuindo para maior eficiência, precisão e suporte à tomada de decisão no manejo florestal sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTUNTAS, C. Point cloud acquisition techniques by using scanning lidar for 3d modelling and mobile measurement. In: XXIV ISPRS CONGRESS, 2022, Nice, France. **Anais [...]**. Nice: ISPRS, 2022. p. 967-972. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-967-2022>. Acesso em: 30 mar. 2026.

BARROS, Q. S. et al. Potencial de la tecnología LiDAR terrestre en la silvicultura. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.5.1-29>.

BIENERT, A. et al. Comparison and combination of mobile and terrestrial laser scanning for natural forest inventories. **Forest**, v. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9070395>.

BUCK, A. L. B. et al. Detecção de árvores em nuvens de pontos de varredura laser terrestre. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 21–38, 2017.

CHOI, Y. T. et al. Individual tree above-ground biomass estimation by integrating LiDAR and machine learning. **Trees, Forests and People**, v. 21, p. 100955, 2025.

COOPS, N. C. et al. Modelling lidar-derived estimates of forest attributes over space and time: a review of approaches and future trends. **Remote Sensing of Environment**, v. 260, p. 112477, 2021.

D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. **Uso do LiDAR como ferramenta para o manejo de precisão em florestas tropicais**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

DIAB, A.; KASHEF, R.; SHAKER, A. Deep learning for LiDAR point cloud classification in remote sensing. **Sensors**, v. 22, n. 20, 2022.

FIGUEIREDO, E. O. et al. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com LiDAR. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 621–628, 2014.

FILPI, H. E. F. C. M. et al. Integrating UAV-borne LiDAR and deep learning for large-scale detection of productive macaw palms (*Acrocomia aculeata*). **Smart Agricultural Technology**, v. 13, 2026.

GALEOTE-LEYVA, B. et al. Inventario forestal asistido por LiDAR: efecto de la densidad de retornos y el diseño de muestreo sobre la precisión. **Madera y Bosques**, v. 28, n. 2, 2022.

GAN, Y.; WANG, Q.; SONG, G. Non-destructive estimation of deciduous forest metrics: comparisons between UAV-LiDAR, UAV-DAP, and terrestrial LiDAR leaf-off point clouds using two QSMs. **Remote Sensing**, v. 16, n. 4, 2024.

GIONGO, M. et al. LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 231–244, 2010.

IMAFLOA (Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola). **LiDAR & carbono: inovação na**

quantificação de biomassa florestal. Piracicaba: Imaflora, 2026.

LÓPEZ-AMOEDO, A. et al. Weight estimation models for commercial *Pinus radiata* wood in small felling stands based on UAV-LiDAR data. **Trees, Forests and People**, v. 14, 2023.

MOLINA-VALERO, J. et al. Use of close-range LiDAR devices as auxiliary data sources in stand-level forest inventories: a comparison of inference approaches. **Remote Sensing of Environment**, v. 325, p. 114773, 2025. DOI: 10.1016/j.rse.2025.114773.

MOROCHO TOAZA, J. M. et al. Accuracy and time efficiency of a new app developed to source and map single tree data: a comparison to state-of-art LiDAR data collectors in terms of basal area estimates. **Ecological Informatics**, v. 91, 2025.

SOILÁN, M. et al. Review of laser scanning technologies and their applications for road and railway infrastructure monitoring. **Infrastructures**, v. 4, 2019.

WULDER, M. A. et al. Satellite-based time series land cover and change information to map forest area consistent with national and international reporting requirements. **Forestry**, v. 93, n. 3, p. 331–343, 2020.

XIANG, B. et al. Automated forest inventory: analysis of high-density airborne LiDAR point clouds with 3D deep learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 305, 2024.

Análise da Produção e Preços Reais de Carvão Vegetal no Maranhão: Tendência, Ciclo e Ruído em uma Série Histórica de 20 Anos (2004–2024)

*Analysis of Charcoal Production and Real Prices in Maranhão: Trend, Cycle, and Noise in a 20-Year
Historical Series (2004–2024)*

LIÁ, Sara de Lima Silva¹; LIÁ, Filipe Silva²; CARDOSO, Júlio César³; MACHADO, Sebastião Silva⁴;
SANTOS, Wallysson Rocha⁵; ROCHA, Quinny Soares⁶

¹Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, sara.lia@uemasul.edu.br; ²Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, felipe.lia@uemasul.edu.br; ³Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, julio.silveira@uemasul.edu.br; ⁴ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, sebastião.silva.machado@uemasul.edu.br; ⁵Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, wallysson.santos@uemasul.edu.br; ⁶Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, quinny.rocha@uemasul.edu.br

RESUMO

Este trabalho analisou a série histórica (2004–2024) da produção e dos preços reais do carvão vegetal no Maranhão, com o objetivo de identificar componentes de tendência, ciclo e ruído. Os dados foram obtidos junto ao IBGE e ao IPEADATA, organizados em planilhas e deflacionados pelo índice IGP-DI, permitindo a análise em termos reais. Os resultados indicam que a produção atingiu seu pico em 2016 (574,5 mil toneladas), período associado ao menor preço real da série, evidenciando uma crise de rentabilidade. As quedas observadas em 2009 e 2012 caracterizam-se como ruídos, associados à volatilidade do mercado siderúrgico. Já o declínio acentuado entre 2016 e 2021 reflete mudanças estruturais, como o aumento da fiscalização ambiental e a transição para sistemas de produção baseados em silvicultura. Conclui-se que, apesar dos preços recordes em 2024, o ganho real do produtor permanece limitado pelo aumento dos custos operacionais e de conformidade. A valorização recente está associada, principalmente, à restrição da oferta e às novas exigências de sustentabilidade do mercado.

Palavras-chave: Bioeconomia; Deflação de Preços; Economia Florestal.

INTRODUÇÃO

A produção de carvão vegetal tem assumido um papel estratégico no contexto da bioeconomia. Proveniente da queima ou carbonização de madeira ou de biomassa residual, o carvão vegetal constitui um subproduto de valor econômico e social muito importante (Conjos et al., 2021). Este produto, proveniente da biomassa florestal, distingue-se de outros combustíveis sólidos de origem biomássica por sua maior estabilidade e pelo alto conteúdo de carbono fixo (Thakkar et al., 2016). Desta forma, destaca-se como uma importante alternativa energética renovável, sobretudo, em países ricos em biomassa florestal, seja em florestas plantadas ou nativas (Silva; Seye;

Patelli; 2021).

No Brasil, o uso de carvão vegetal caminha em direção a uma produção siderúrgica mais sustentável, configurando-se como uma forma de alternativa estratégica para a mitigação dos impactos ambientais. O país é líder mundial na fabricação deste insumo, alcançando cerca de 6,6 milhões de toneladas (IBÁ, 2025). Isso ocorre porque a siderurgia brasileira encontra nesse material uma matéria-prima de grande relevância, devido ao seu desempenho como combustível e agente redutor, além de ser renovável e ambientalmente sustentável quando proveniente de florestas plantadas (Loureiro et al., 2021).

Esse produto representa a terceira maior participação na geração de valor da silvicultura do país, correspondendo a 21,4% do total do setor e movimentando aproximadamente R\$ 8,0 bilhões em valores nominais, o que indica um crescimento de 6,3% em relação ao ano anterior. Apesar disso, a produção total tem apresentado tendência de queda nos últimos anos. Em contrapartida, o carvão vegetal de origem extrativa registrou aumento de 32,4% no valor da produção, destacando-se o estado do Maranhão como principal produtor, com crescimento de 92,3%, superando o Pará, ao atingir uma produção de 176,2 mil toneladas, equivalente a 35,1% do total nacional (IBGE, 2024).

A crise na siderurgia em 2023 reduziu drasticamente a demanda por carvão vegetal, causando queda nos preços e descontinuidade na produção. Esse cenário ilustra a instabilidade cíclica do mercado, fortemente dependente do consumo industrial de aço (Schmid et al., 2024). Nesse sentido as séries históricas desempenham um papel fundamental na análise econômica, pois permitem compreender a evolução de variáveis ao longo do tempo e identificar padrões, ciclos e mudanças estruturais que não seriam perceptíveis em análises estáticas. Essas séries não apenas registram o comportamento passado, mas também fornecem subsídios essenciais para a interpretação de fenômenos econômicos, como crises, expansões e relações entre variáveis (Pessoa; Brito; Rivero, 2024).

Diante desse cenário, faz-se necessário compreender as dinâmicas de mercado que influenciam esse setor. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a série histórica de 2004 a 2024, buscando identificar os componentes de tendência, ciclo e ruído que caracterizam o comportamento da produção e do preço real do carvão vegetal no Maranhão. Por meio do deflacionamento dos valores nominais, pretende-se correlacionar a oferta com as variações de preço, verificando em que medida a demanda nacional é sensível às variações econômicas e ao contexto inflacionário do período identificado.

METODOLOGIA

Para a análise da série histórica (2004–2024) da produção e do preço real do carvão vegetal, foram estabelecidas etapas (Figura 1), que sintetiza os procedimentos de coleta, organização e processamento dos dados, bem como a análise das informações e a revisão bibliográfica, visando o embasamento científico dos resultados obtidos. Inicialmente, foram coletadas séries históricas dos dados de produção e preço do carvão vegetal ao longo de 20 anos, utilizando como fonte as informações da Pesquisa de Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE, 2026). Em seguida, os dados foram organizados e padronizados em planilhas do Microsoft

Excel. Posteriormente, realizou-se o processamento das séries, utilizando o Índice Geral de Preço - Disponibilidade Interna (IGP – DI), proveniente do IPEADATA (2024), para a deflação dos valores e obtenção do preço real. Com base nesses dados, foram elaborados gráficos para identificar tendência, ciclos e ruídos nas séries de produção e preço.

Paralelamente, foi conduzida uma revisão bibliográfica em bases de dados como SciELO, ScienceDirect, Google Acadêmico e relatórios institucionais da IBÁ. A busca foi realizada a partir das palavras-chave: “carvão vegetal”, “mercado de carvão vegetal”, “siderurgia e carvão vegetal”, “produção florestal”, “preço do carvão vegetal” e “bioeconomia florestal”.

Como critérios de inclusão, foram considerados: (i) estudos publicados nos últimos 10 anos; (ii) trabalhos com abordagem econômica, produtiva ou ambiental relacionada ao carvão vegetal; e (iii) artigos científicos revisados por pares e documentos institucionais de relevância. Como critérios de exclusão, foram desconsiderados: (i) estudos sem relação direta com o tema; (ii) publicações sem rigor científico, como resumos simples, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses; e (iii) estudos com inconsistências metodológicas ou ausência de dados verificáveis. Por fim, os estudos selecionados foram analisados de forma qualitativa e integrados ao referencial teórico, assegurando o embasamento científico necessário para a interpretação dos resultados obtidos.

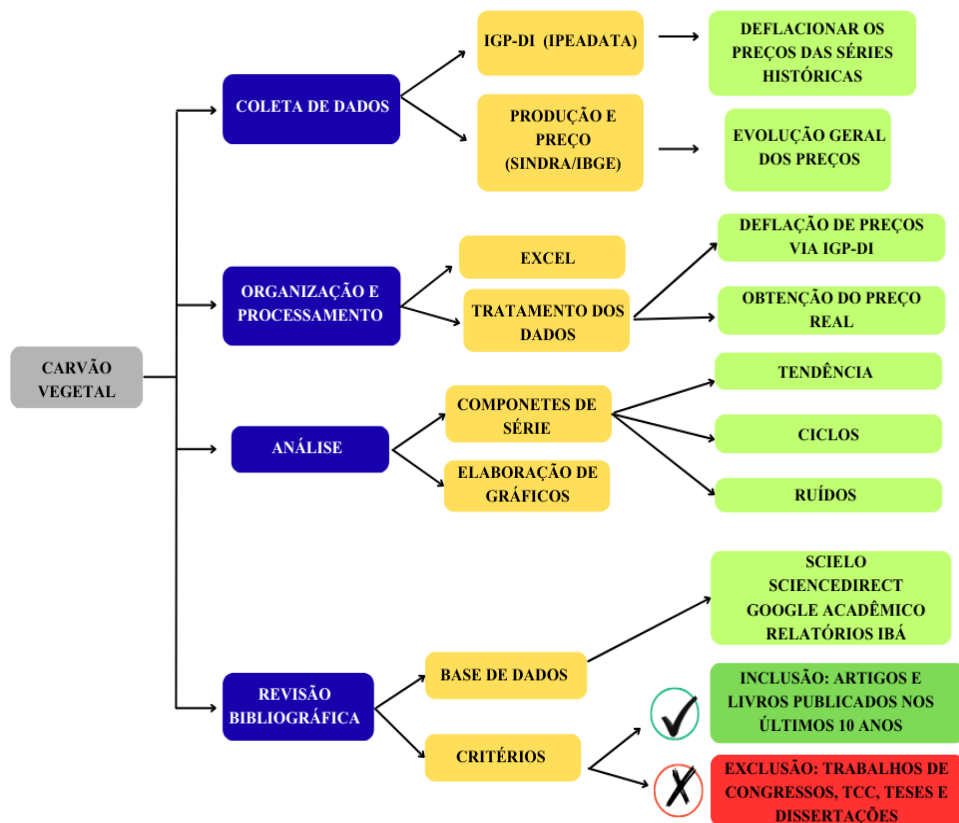
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mercado de carvão vegetal no Maranhão apresentou dinâmicas distintas ao longo das duas últimas décadas, conforme ilustrado na Figura 2. Observa-se que, enquanto a produção atingia seu pico em 2016 com 574.584 mil toneladas de carvão vegetal (Figura 2-A), o preço deflacionado registrava seu menor valor histórico (Figura 2-B). Esse cenário começou inverter a partir de 2017, quando o preço (Figura 2-C) disparou, acompanhando a retomada do valor real de mercado.

A tendência geral da produção foi de grande crescimento até 2016, seguida por um declínio acentuado até 2021 e uma tentativa de recuperação recente. O primeiro grande ciclo de queda ocorre entre 2008 e 2010, reflexo direto da crise financeira global que atingiu o setor siderúrgico. Segundo o relatório do IBÁ (2017), a fabricação do ferro-gusa é o motor dessa demanda, quando o mercado externo de aço passou por um declínio, o estoque de carvão subiu e a produção caiu. As quedas rápidas em 2009 e 2012 são ruídos causados pela instabilidade do preço do aço no mercado internacional.

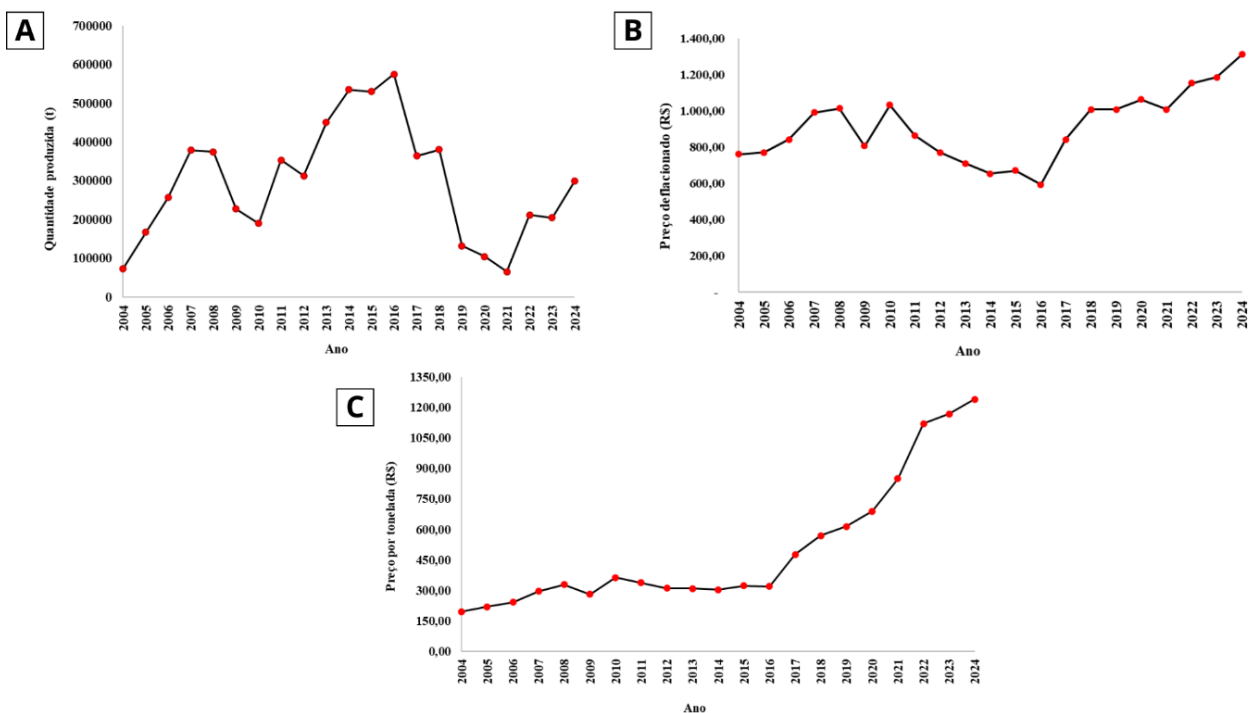
Ao comparar o preço nominal (Figura 2-C) com o preço real/deflacionado (Figura 2-B), a distorção causada pela inflação torna-se evidente, especialmente após 2017. De 2010 a 2016, o preço real esteve em tendência de queda. A competitividade e a opção econômica pelo uso do carvão vegetal em detrimento de outros redutores dependem diretamente da flutuação desses preços e da origem da matéria-prima (Lucena *et al.*, 2011).

Figura 1. Fluxograma da metodologia realizar para análise econômica do mercado



Fonte: Os autores (2026).

Figura 2. Indicadores econômicos do carvão vegetal no Maranhão (2004-2024): (A) Quantidade produzida em toneladas; (B) Preço real deflacionado em Reais (R\$); (C) Preço por tonelada em Reais (R\$)



Fonte: Os autores (2026).

O Relatório IBÁ 2017 destaca que, nesse período, o setor enfrentou um aumento nos custos logísticos e de conformidade ambiental, explicando que, mesmo com a produção subindo em 2014-2016, o preço real (Figura 2-B) permanecia estagnado ou em queda. Somente a partir de 2017 observa-se uma correção real nos preços, devido a uma possível escassez de oferta, já que a produção diminuiu fortemente.

A relação entre a produção e o preço indica que as oscilações de demanda não são atribuídas ao preço do produto, mas sim a fatores externos do mercado de aço. Nota-se que, entre 2016 e 2021, a produção caiu bruscamente (de quase 600 mil t para cerca de 100 mil t). Observa-se que, o preço real começou a subir no momento em que a produção caiu. Isso sugere uma escassez de oferta, o rigor na fiscalização contra o desmatamento no Maranhão e a transição para florestas plantadas reduziram a disponibilidade do produto de origem nativa. Estudos indicam que a produção de carvão vegetal no Brasil historicamente esteve associada ao uso de florestas nativas, o que intensificou a pressão regulatória e impulsionou a transição para sistemas baseados em florestas plantadas (Santos; Hatakeyama, 2012).

O aumento do preço a partir de 2021, acompanhado por uma retomada da produção, evidencia o cenário pós-pandemia, onde a demanda siderúrgica global reaqueceu, mas a base produtiva maranhense ainda tentava se ajustar às novas exigências de sustentabilidade. Portanto, o preço alto atual é um reflexo da baixa oferta acumulada nos anos anteriores e do custo mais elevado da produção legalizada, como a silvicultura, e não apenas uma flutuação comum de mercado.

CONCLUSÕES

A análise da série histórica evidencia que o mercado de carvão vegetal no Maranhão apresenta forte dependência do setor siderúrgico e atravessa um processo de transição estrutural. Embora os preços nominais tenham atingido níveis recordes em 2024, a análise em termos reais demonstra que o poder de compra e a rentabilidade do produtor permanecem limitados, em função do aumento dos custos operacionais, logísticos e de conformidade ambiental.

Dessa forma, a valorização recente do produto está mais associada à restrição da oferta e às exigências de sustentabilidade do que a um simples movimento cíclico de mercado. Nesse contexto, a sustentabilidade econômica do setor depende da adaptação a sistemas produtivos legalizados, como a silvicultura, e da estabilidade da demanda industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONJO, M. P. F; CHICHANGO, D. B; JESUS, O. M de; SOUZA, P. Proposta de introdução do modelo de produção de carvão vegetal utilizado no Brasil em Moçambique como forma de redução de impactos ambientais derivados do processo. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 12, p. 1277–1293, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Estatística da indústria brasileira de árvores**. 2025. Disponível em: <https://iba.org/>. Acesso em: 22 mar. 2026.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2017**. São Paulo: Ibá, 2017. 80 p. Relatório 2017. Brasília, DF: IBÁ, 2017. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/05/iba->

relatorioanual2017.pdf. Acesso em: 20 mar. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEADATA). **Consumo de carvão vegetal - setor siderúrgico**. Brasília: IPEA, 2024. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=33593&module=M>. Acesso em: 30 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabela 291: Produção de extração vegetal e da silvicultura, por tipo de produto extrativo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/291>. Acesso em: 30 mar. 2026.

LOUREIRO, B. A. et al. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp. para uso industrial. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 214-232, 2021.

LUCENA, Leandro Pessoa et al. A demanda por carvão vegetal e suas consequências econômicas sobre o agronegócio do eucalipto no Brasil. **Revista de Estudos Sociais**, v. 13, n. 25, p. 158-172, 2011.

PEREIRA, E. G. et al. Pyrolysis gases burners: Sustainability for integrated production of charcoal, heat and electricity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 75, p. 592-600, 2016.

PESSOA, J; BRITO, A. S; RIVERO, S. L. M. Análise de séries temporais em economia: abordagem da transformada de wavelet. **Cadernos CEPEC**, Belém, v. 13, n. 1, p. 43-61, jun. 2024.

SANTOS, S. F. O. M; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Production**, v. 22, p. 309-321, 2012.

SCHMID, M. L. et al. Carvão vegetal no Brasil: uma visão panorâmica do mercado e suas perspectivas. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, MG, n. 5, v. 4, p. 1-6, maio 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.53661/2763-686020240000005>.

SILVA, R. L da; SEYE, O; PATELLI JR., J. R. Carvão vegetal de madeiras nativas do Cerrado em aplicações siderúrgicas e energéticas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 1087-1099, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n4e8364. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8364>. Acesso em: 21 mar. 2026.

THAKKAR, J. et al. Energy balance and greenhouse gas emissions from the production and sequestration of charcoal from agricultural residues. **Renewable Energy**, Amsterdam, v. 94, p. 558-567, 2016.

Avaliação da Celulose no Maranhão: uma análise da série histórica dos preços e produção

Evaluation of the Pulp Industry in Maranhão: an analysis of the historical series of prices and production

SOUSA, Gleiciane Lopes¹; GOMES, Ludmilla Barbosa²; SILVA, Maria Creusa Sousa³; PINHEIRO, Paula Layssa⁴; ROCHA, Quinny Soares⁵

¹UEMASUL, Discente em Engenharia Florestal, Imperatriz-MA, gleiceane.lopesdesousa@gmail.com; ²UEMASUL, Discente em Engenharia Florestal, Imperatriz-MA, ludmilla.gomes@uemasul.edu.br; ³UEMASUL, Discente em Engenharia Florestal, Imperatriz-MA, maria.creusa@uemasul.edu.br; ⁴UEMASUL, Discente em Engenharia Florestal, Imperatriz-MA, paula.silva@uemasul.edu.br; ⁵UEMASUL, Doutora em Engenharia Florestal, Imperatriz-MA, quinny.rocha@uemasul.edu.br

RESUMO

O setor de celulose representa um dos segmentos mais relevantes da indústria florestal brasileira, contribuindo para a geração de empregos, aumento das exportações e valorização dos recursos florestais. Nesse contexto, a análise de séries temporais permite compreender o comportamento de variáveis ao longo do tempo, identificar tendências e subsidiar o planejamento estratégico do setor. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a evolução do valor e da produção de madeira destinada à celulose no estado do Maranhão entre 2004 e 2024. Os dados foram obtidos na base de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura do IBGE. Para avaliar o efeito da inflação sobre os preços da madeira, os valores foram corrigidos pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI). A metodologia envolveu organização dos dados, análise descritiva e elaboração de gráficos para melhor interpretação dos resultados. Os resultados indicaram crescimento contínuo da produção no período analisado, enquanto os preços apresentaram aumento nominal compatível com a inflação, sem evidências de valorização real da madeira destinada à produção de celulose no Maranhão.

Palavras-chave: bioeconomia, deflacionamento, valor da madeira.

INTRODUÇÃO

A produção de celulose é uma das atividades industriais mais relevantes no cenário atual do setor florestal, especialmente em nações que dispõem de abundantes recursos naturais e potencial para o cultivo de florestas plantadas. Como afirmam Isikgor e Becer (2015), a biomassa lignocelulósica é uma das matérias-primas renováveis mais disponíveis do planeta, apresentando uma significativa importância estratégica para a produção industrial moderna, dada sua capacidade de ser convertida em uma variedade de bioprodutos. Nesse aspecto, o Brasil se destaca no cenário global como um dos maiores produtores e exportadores de celulose, resultado da alta produtividade florestal e do cultivo intensivo de eucalipto.

O desenvolvimento do setor de papel e celulose no Brasil está ligado à

distribuição da indústria e à exploração de novas áreas produtivas, sobretudo em regiões com grande disponibilidade de terras. De acordo com Perpetua et al. (2017), a interiorização da indústria de celulose no Brasil é um reflexo das estratégias corporativas de territorialização, que visam melhorar a logística, oferecer terras e expandir a produção agroindustrial. Nesse cenário, o Maranhão começou a ganhar mais importância na cadeia produtiva florestal do país, especialmente na região sudoeste, que concentra investimentos, recursos e iniciativas ligadas ao setor. O crescimento dessa atividade destaca a relevância de pesquisas que analisem a dinâmica produtiva e econômica da madeira para celulose no estado.

Ademais, a análise de séries históricas é uma ferramenta fundamental para entender as mudanças estruturais ao longo do tempo e o comportamento da produção. De acordo com Gujarati e Porter (2011), os dados temporais possibilitam a identificação de tendências, padrões de crescimento e alterações estruturais em variáveis econômicas, o que torna as análises mais robustas. Ademais, as condições de oferta e demanda estão diretamente ligadas ao comportamento dos preços, sendo a correção inflacionária essencial para interpretações mais precisas. Além disso, as séries temporais incluem elementos como tendência, ciclos e ruídos, que são essenciais para entender a dinâmica do mercado. Dessa forma, este estudo visa examinar a relação entre produção, preço nominal e preço deflacionado da madeira destinada à celulose no Maranhão, identificando padrões, ciclos e variações, além dos impactos da inflação e da demanda sobre os preços.

METODOLOGIA

O presente trabalho é classificado como uma investigação de natureza bibliográfica e documental, utilizando uma abordagem qualitativa e um caráter descritivo e exploratório, com a meta de examinar a trajetória histórica do aumento da produção e do valor da madeira destinada à celulose no estado do Maranhão. De acordo com Gil (2019), pesquisas bibliográficas são realizadas a partir de documentos já existentes, permitindo ao pesquisador entender e interpretar fenômenos através da análise crítica de estudos científicos estabelecidos.

Para desenvolver a fundamentação teórica do estudo, foi feito um levantamento bibliográfico em bancos de dados científicos nacionais e internacionais, que inclui periódicos indexados, livros acadêmicos e documentos institucionais fornecidos por agências e empresas do setor florestal e industrial. Foram as principais fontes de consulta plataformas como Google Scholar, SciELO, Periódicos CAPES e as bases institucionais da empresa Suzano, com atenção a publicações entre os anos de 2010 e 2026 que abordassem tópicos relacionados à cadeia produtiva da celulose, à industrialização regional e ao crescimento econômico do Maranhão.

Os dados financeiros foram provenientes do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2026) ajustados para refletir a realidade econômica, corrigindo os preços originais com o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) para remover o impacto da inflação (IPEADATA, 2026). Isso transformou os valores antigos em atuais, permitindo uma comparação mais clara da variação dos preços da madeira para celulose ao longo dos anos e a avaliação do poder de compra real. Gráficos foram criados para visualizar a produção, preços originais e corrigidos, ajudando a identificar tendências, flutuações e desequilíbrios. Uma análise

conjunta entre produção e preços foi feita para entender o impacto do mercado e da inflação no setor do estado do Maranhão. Para finalizar, os dados coletados foram organizados de forma descritiva e analítica, e analisados com base em estudos científicos já realizados, com o objetivo de entender o papel histórico da atividade industrial no fortalecimento da cadeia produtiva florestal no Maranhão. A Figura 1 mostra, de forma resumida, o esquema das etapas metodológicas planejadas para a execução da pesquisa.

Figura 01. Fluxograma das etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa sobre a evolução histórica da produção de celulose no Maranhão.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

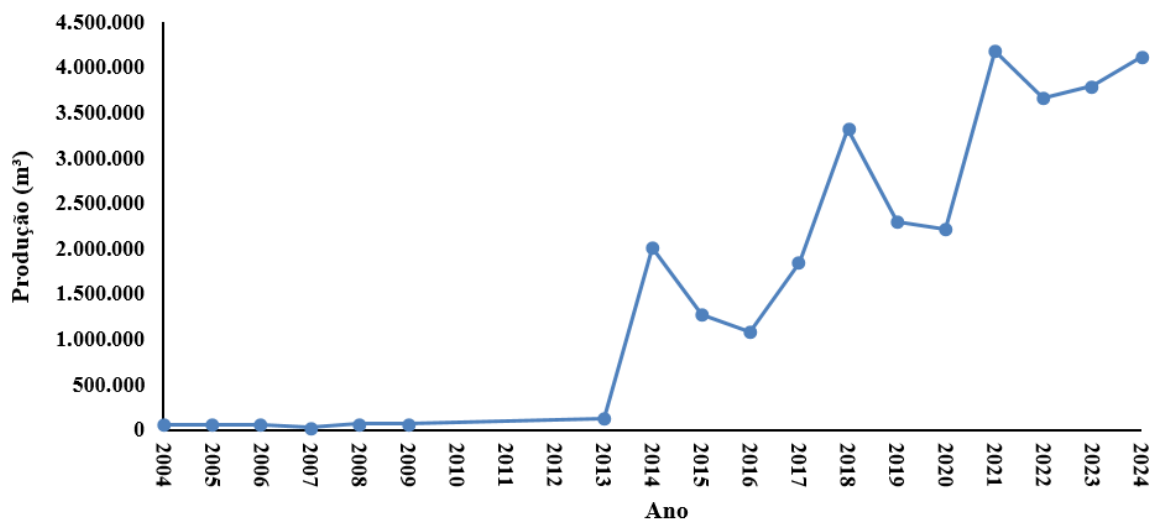
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tendência da série histórica da produção da madeira para celulose é crescente (Figura 2). Até o ano de 2013, a produção de madeira para celulose no estado do Maranhão era extremamente baixa. Entre os anos de 2009 e 2013, não foram encontrados valores de produção na base de dados disponíveis. A partir de 2013, a produção de madeira para celulose apresentou um crescimento expressivo, que pode ser associado a instalação de uma das maiores empresas de celulose no Brasil, a Suzano S.A. no município de Imperatriz, na região Tocantina do Maranhão (Suzano, 2026).

Observa-se ciclos entre aumento e queda na produção entre os anos de 2014 e 2016; 2018 e 2020; 2022 e 2023. Em 2014 houve uma grave crise econômica, que gerou também uma instabilidade política associada ao governo de Dilma Rousseff e aos desdobramentos da Operação Lava Jato (Barbosa Filho, 2017), o que pode ter contribuído para a queda na produção da madeira de celulose nesse período. No segundo ciclo, houve a pandemia da COVID-19, que afetou profundamente todos os

setores da economia a nível mundial. Não foram identificados ruídos na série histórica analisada.

Figura 02. Série histórica da produção da madeira para celulose no Maranhão entre 2004 e 2024



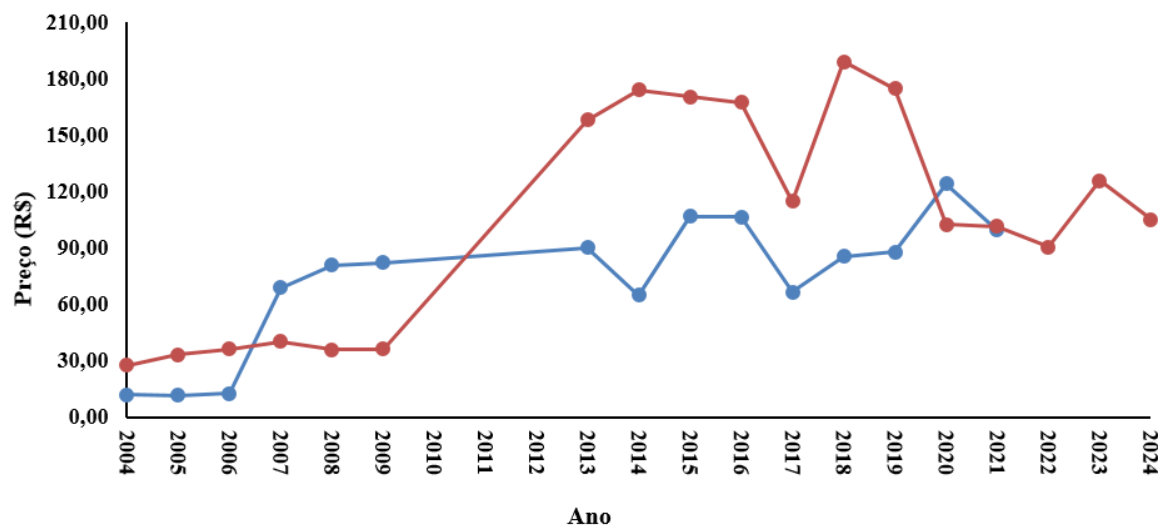
Fonte: Autores (2026).

Em relação à série histórica do preço da madeira para celulose (Figura 3), a tendência dos preços é de crescimento, tanto para os preços nominais (com inflação) quanto para os preços reais (sem inflação). Não foi possível identificar pontos de ciclos e ruídos nas séries históricas dos preços da madeira para celulose, indicando uma dificuldade em realizar o planejamento à longo prazo na empresa com base nos dados econômicos disponíveis.

O aumento significativo do preço da madeira entre os anos de 2009 e 2013 pode estar associado à instalação da Suzano S.A. na região Tocantina do Maranhão. A redução dos preços da madeira destinada à produção de celulose no Maranhão entre 2016 e 2017 pode ser explicada por um conjunto de fatores, incluindo o aumento da oferta decorrente da expansão de florestas plantadas, a estabilização da demanda industrial e a valorização cambial observada no período. Ademais, a estrutura concentrada do mercado, caracterizada por poucos compradores, intensifica a sensibilidade dos preços locais a variações na demanda, contribuindo para movimentos de queda mesmo em contextos de estabilidade produtiva.

Entre os anos de 2007 a 2009 e o ano de 2020, os preços reais estavam abaixo dos nominais, indicando perda de valor para os produtores. Entre 2007 e 2009, a produção da madeira para celulose era bastante reduzida, indicando um mercado ainda em construção. Isso pode ter influenciado no baixo preço da madeira. Assim como na produção, o preço da madeira para a celulose também foi afetado pela pandemia da COVID-19, explicando a perda de valor em 2020. Entre 2021 e 2024, os valores reais e nominais são muito próximos, indicando que os preços estão seguindo o comportamento da geral da inflação no Brasil. Nos demais anos da série histórica, o preço real é maior que o nominal, indicando uma valorização do preço da madeira acima da inflação do Brasil, indicando um ganho no valor para os produtores.

Figura 03. Série histórica dos preços nominais e reais da madeira para celulose no Maranhão entre 2004 e 2024



Legenda: As linhas e pontos em azul representam os valores nominais e as linhas e pontos em vermelho representam os valores reais.

Fonte: Autores (2026).

CONCLUSÃO

A produção de madeira para celulose no estado do Maranhão apresenta uma trajetória de crescimento ao longo do período analisado, fortemente influenciada pela instalação da Suzano na região Tocantina, a partir de 2013. Apesar dessa tendência positiva, foram observados ciclos de variação na produção associados a eventos macroeconômicos relevantes, como a crise econômica brasileira de 2014–2016 e a pandemia da COVID-19, evidenciando a sensibilidade do setor a fatores externos. Em relação aos preços, verificou-se uma tendência de crescimento tanto em termos nominais quanto reais, embora sem a presença clara de ciclos, o que dificulta o planejamento de longo prazo. Ademais, a análise conjunta dos preços reais e nominais revelou períodos de perda e ganho de valor para os produtores, indicando a importância do deflacionamento para a correta interpretação econômica. Por fim, destaca-se que a estrutura concentrada do mercado e as variações na oferta e demanda influenciam diretamente a formação dos preços, reforçando a complexidade da dinâmica do setor florestal no estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA FILHO, F. de H. A crise econômica de 2014/2017. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 51–60, 2017.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática*. 2026.

Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 abr. 2026.

IPEADATA. **Índice geral de preços - disponibilidade interna**. 2026. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=33593&module=M>. Acesso em: 02 abr. 2026.

ISIKGOR, F. H.; BECER, C. R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. **Polymer Chemistry**, v. 6, n. 25, p. 4497-4559, 2015.

PERPETUA, G. M. et al. Estratégias de territorialização das corporações agroextrativistas na América Latina: o caso da indústria de celulose no Brasil. **Revista NERA**, v. 20, n. 40, p. 61-87, 2017.

SUZANO. Suzano no Maranhão. Disponível em: <https://www.suzano.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2026.

Construção de um modelo didático de baixo custo para simulação do ciclo de motores 4 tempos

Construction of a low-cost didactic model for simulating the 4-stroke engine cycle.

LIMA, Guilherme Domingues Neves¹; SILVA, Gustavo Santana²; SOUZA, Carlos Henrique Silva³; CARVALHO, Mateus dos Santos Sousa⁴; FILHO, Nivaldo Gomes da Silva⁵; LIMA, Roldão Carlos Andrade⁶

¹ UEMASUL, guilherme.lima@uemasul.edu.br; ² UEMASUL, gustavo.santana@uemasul.edu.br,

³ UEMASUL, carlos.souza@uemasul.edu.br, ⁴ UEMASUL, mateus.carvalho@uemasul.edu.br, ⁵ UEMASUL, nivaldo.filho@uemasul.edu.br; ⁶ UEMASUL, roldao.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

O motor de 4 tempos apresenta elevada relevância para o setor florestal, devido a sua ampla aplicação em máquinas. Nesse contexto, este trabalho descreve a construção de uma maquete didática, com o objetivo de facilitar a compreensão e o funcionamento desse tipo de motor. A metodologia envolveu o uso de material audiovisual para orientar a elaboração da maquete, além da consulta a materiais bibliográficos para simplificar princípios termodinâmicos e mecânicos dos motores de combustão interna. Também foram utilizados materiais de fácil acesso e potencialmente recicláveis. Os resultados demonstraram que a maquete constitui uma ferramenta eficaz para representar e exemplificar os ciclos do motor, tornando os conceitos mais acessíveis. Conclui-se que o modelo didático contribui para o ensino-aprendizagem de engenharia florestal, promovendo maior compreensão do motor de 4 tempos e evidenciando a importância do Ciclo Diesel.

Palavras-chave: Mecanização; Ciclo Diesel; Educação.

INTRODUÇÃO

Com os avanços ocasionados pela revolução industrial, a busca por maior eficiência resultou no desenvolvimento de motores movidos a combustão. O primeiro motor de combustão interna foi projetado pelo engenheiro belga Jean J. Lenoir no ano de 1858. Apesar de nunca ter conseguido criar seu motor, Alphonse Beau de Rochas propôs um modelo que utilizava os princípios fundamentais dos motores de quatro tempos (Souza, 2004).

O princípio de desenvolvimento do motor de 4 tempos foi patenteado no final do século XIX, porém, os avanços tecnológicos permitiram que essa máquina mecânica fosse utilizada em larga escala na produção automobilística, e a maioria dos veículos do mundo ainda utilizam esse tipo de motor (Rosário, 2023), incluindo também o setor florestal e agrícola.

Partindo desse cenário, é importante que haja recursos didáticos para permitir o entendimento desses mecanismos. A utilização de maquetes e outros materiais são excelentes ferramentas para tal desafio, reduzido a complexidade de conceitos bidimensionais transformando-os em objetos tangíveis e tridimensionais para a

compreensão comum, a existência desse trabalho se justifica por buscar meios eficazes e facilitadores para temas sobre engenharia mecânica.

O objetivo desse trabalho é demonstrar o funcionamento de um motor 4 tempos através de um modelo didático com enfoque no Ciclo Diesel, permitindo uma educação visual e eficaz e promovendo a compreensão desse mecanismo inerente à sociedade moderna.

METODOLOGIA

A construção do modelo didático referente ao motor de 4 tempos, que destaca o ciclo diesel, foi primeiramente guiada por um método prático e acessível. A etapa que deu início constituiu-se na pesquisa por vídeos tutoriais disponíveis na plataforma YouTube. Esse recurso audiovisual foi importante na compreensão das fases da montagem, identificação dos materiais e visualização do funcionamento do motor.

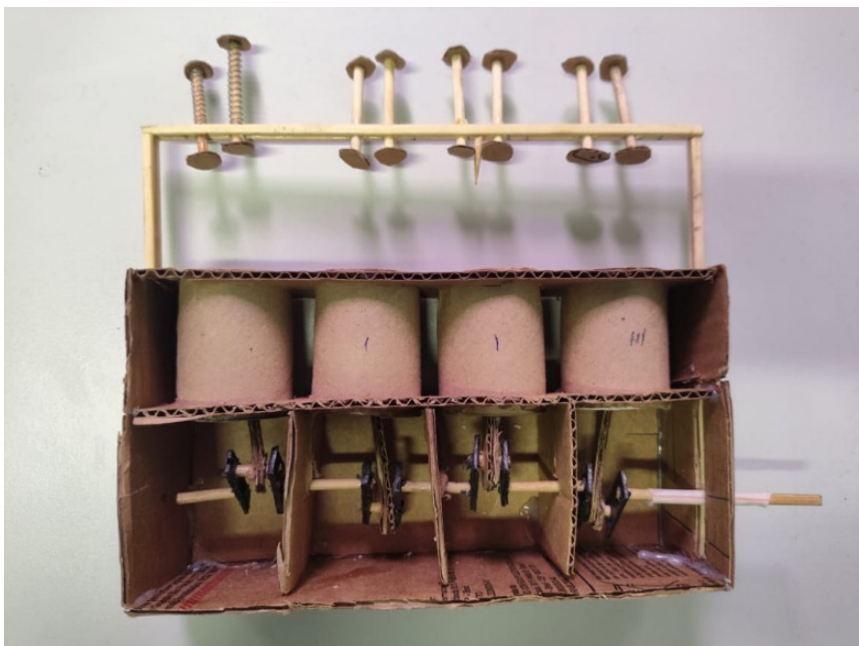
Paralelamente à análise dos vídeos, foi realizada uma revisão bibliográfica para aprofundar o entendimento dos princípios termodinâmicos e mecânicos que regem os motores de combustão interna. Essa pesquisa complementou as informações visuais, permitindo a simplificação de conceitos complexos e contextualização teórica da maquete.

Os materiais utilizados na criação da maquete foram selecionados com base em sua disponibilidade e baixo custo visando replicar o projeto. Incluíram-se papelão, isopor, cola, molas e pedaços de madeira que foram adaptados para representar fielmente as partes de um motor de quatro tempos, como virabrequim, pistões, bielas e válvulas. A montagem seguiu as orientações visuais dos vídeos e as adaptações necessárias para garantir a funcionalidade didática da maquete.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maquete resultou na representação fiel de um motor de quatro tempos, o qual funciona de modo contínuo nas quatro etapas, que são distintas em cada cilindro, que correspondem a duas voltas completas no virabrequim (Figura 1). No primeiro estágio, a válvula de admissão se abre, permitindo a entrada de ar ao ser puxado pelo pistão que se move do ponto mais alto para o ponto mais baixo. Assim, no caso de injeção indireta, a mistura de ar e combustível, ou apenas ar em injeção direta, é trazida para dentro do cilindro (Schulz, 2009). No segundo estágio, começa a compressão: ambas as válvulas permanecem fechadas enquanto o pistão, partindo do ponto de mínima pressão, reduz a mistura a um volume muito pequeno quando se aproxima do ponto de máxima pressão. Neste momento, o combustível se inflama, elevando a pressão na câmara de combustão.

Figura 1. Maquete do motor 4 tempos



Fonte: Autores (2026).

O terceiro estágio é aquele em que é realizado o trabalho efetivo do motor, devido ao súbito aumento de pressão gerado pela ignição ao fim da compressão. Esse aumento de pressão empurra o pistão do ponto máximo ao ponto mínimo. O movimento do pistão gera a rotação do virabrequim (Schulz, 2009). O quarto e último estágio do ciclo diesel começa com a abertura da válvula de escape, enquanto o pistão se encontra no ponto mínimo. Assim, ao mover o êmbolo em direção ao ponto máximo, os gases resultantes da combustão são expelidos para o sistema de escapamento do veículo. Após isso, a válvula de admissão se abre novamente, reiniciando todo o processo (Mendonça, 2020).

A maquete de um motor de combustão interna de quatro cilindros, tem grande importância didática na demonstração dos tempos, ainda que construída de maneira muito simples, com papelão e isopor possui um enorme valor para o ensino dos conceitos de física, engenharia e mecânica (DIAS, 2009). Trata-se de um recurso concreto que facilita o entendimento de um mecanismo complexo ao torná-lo acessível a alunos de diferentes idades e graus de conhecimento.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização e elaboração de maquetes é um recurso pedagógico notável para o ensino de mecanismos complexos. A maquete permitiu uma compreensão clara e prática dos complexos processos que ocorrem dentro de um motor de combustão interna, facilitando a assimilação dos conceitos de admissão, compressão, combustão/expansão e exaustão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ROSÁRIO, Wesley Marvila do; OLIVEIRA, Ana. **Aspectos Gerais de Funcionamento de Motores Quatro Tempos**. 2023. 11 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Linhares, 2023. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58487/1/WESLEYMARVILADO_ROSARIO.pdf. Acesso em: 25 mar. 2026.

SCHULZ, Daniel. **Motores 4 Tempos: Etapas de Funcionamento**. 2009a. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm. Acesso em: 25 mar. 2026.

SCHULZ, Daniel. **Ciclo de Otto**. 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm. Acesso em: 25 mar. 2026.

DIAS, Jorge Luiz Gomes. **Ciclo de Otto**: aplicação teórica e utilidade prática. 2009. 11 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/cicloottoartigofinal.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SCHULZ, Daniel. **Motores 4 Tempos**. 2009b. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t.htm>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SOUZA, Sandro G. **Um estudo sobre a evolução das câmaras de combustão dos motores do ciclo Otto à gasolina e sua aplicação ao etanol hidratado como combustível alternativo**. 2004. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MENDONÇA, Fabrício Rogério Silva de. **Análise e simulação de um motor quatro tempos a gasolina**. 2020. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstreams/71f4ec1e-5d00-46ff-b1c3-ff5d70a4add7/download>. Acesso em: 25 mar. 2026.

Correlação entre Severidade do Cancro do Córtex e Variáveis Dendrométricas em um Povoamento de Mogno Africano

Correlation between the Severity of Cortex Cancer and Dendrometric Variables in African Mahogany Planting

FIGUEIREDO, Fernando Silva¹; MACHADO, Sebastião da Silva²; DE SOUZA, Natália Batista³; RAABE, Joabel⁴; GOMES, Jaqueline Macedo⁵; FERREIRA, Diogenis Fontenele⁶; BELAN, Leônidas Leoni⁷

¹UEMASUL, fernando.figueiredo@uemasul.edu.br; ²UEMASUL, sebastiao.silva.machado@uemasul.edu.br; ³UEMASUL, nataliasouza.20190003556@uemasul.edu.br; ⁴UEMASUL, joabel.raabe@uemasul.edu.br; ⁵UEMASUL, jaquelinegomes@uemasul.edu.br; ⁶UEMASUL, diogenis.ferreira@uemasul.edu.br; ⁷UEMASUL, leonidas.leoni@uemasul.edu.br

RESUMO

O objetivo com este estudo foi avaliar a correlação entre a ocorrência e a intensidade do cancro do córtex (*Lasiodiplodia theobromae*) em plantas de *Khaya ivorensis* e variáveis dendrométricas. O estudo foi conduzido em uma área de 12,7 hectares, contendo 3.428 árvores, localizada na Região Tocantina do Maranhão. Todas as plantas foram avaliadas visualmente quanto à presença de sintomas, sendo classificadas de acordo com a severidade da doença. Também foram mensuradas as variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito, altura total e altura comercial. Os dados foram submetidos a análises estatísticas. Observou-se elevada ocorrência da doença, atingindo 80% das plantas, com predominância do nível máximo de severidade (72,81%). Verificou-se correlação positiva entre ocorrência e severidade da doença, enquanto as correlações entre as variáveis fitossanitárias e dendrométricas (DAP, altura total e altura comercial) não foram significativas, indicando que, nas condições da Região Tocantina do Maranhão, a doença ocorre de forma independente do porte das árvores. Conclui-se que os impactos do cancro do córtex podem estar mais relacionados à qualidade da madeira do que ao crescimento das plantas, sendo recomendados estudos complementares sobre os efeitos da doença nas propriedades tecnológicas da madeira.

Palavras-chave: cancro do córtex; severidade; variáveis dendrométricas.

INTRODUÇÃO

No Brasil, entre as espécies do gênero *Khaya*, destaca-se *Khaya ivorensis* como uma das mais cultivadas, em função do seu elevado valor econômico e potencial no setor florestal. Os primeiros plantios dessa espécie foram estabelecidos na região Norte em 1976, e, desde então, observa-se uma demanda crescente, mantendo-se em expansão no mercado até o presente momento (Ribeiro *et al.*, 2017).

Apesar da expansão da cultura, o conhecimento científico relacionado ao manejo, especialmente o fitossanitário, ainda é limitado (Tremacoldi *et al.*, 2013). Essa lacuna compromete a tomada de decisão por parte de técnicos e produtores, evidenciando a necessidade de estudos que integrem aspectos fitopatológicos e de

crescimento das plantas (Ribeiro et al., 2017).

Dentre os principais problemas fitossanitários do mogno africano, destacam-se doenças como podridões, murchas vasculares, manchas foliares e o cancro do córtex (Souza et al., 2018; Reis et al., 2019; Vaz et al., 2021; Vaz; Belan, 2022). O cancro do córtex, causado pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, foi relatado pela primeira vez em 2013, no município de Dom Eliseu – PA (Tremacoldi et al., 2013), sendo posteriormente identificado com frequência em plantios na região Tocantina do Maranhão (Vaz et al., 2021; Vaz; Belan, 2022).

A ocorrência dessa doença compromete a qualidade da madeira, reduzindo seu valor comercial em função de danos de natureza estética (Guimarães, 2007; Webber et al., 2020). Além disso, impactos negativos no crescimento das plantas já foram relatados, com redução significativa no incremento médio anual de variáveis dendrométricas, como diâmetro à altura do peito, altura total e altura do caule (Ribeiro et al., 2023).

Nesse contexto, a quantificação da doença por meio de variáveis epidemiológicas, como incidência (proporção de plantas doentes) e severidade (intensidade dos sintomas), constitui ferramenta fundamental para compreender a relação entre o progresso da doença e o desempenho das plantas (Campbell; Madden, 1990). A análise integrada dessas variáveis com atributos dendrométricos pode fornecer subsídios importantes para o entendimento dos impactos da doença no crescimento e produtividade do povoamento.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a correlação entre variáveis dendrométricas e variáveis epidemiológicas (ocorrência e severidade) do cancro do córtex (*Lasiodiplodia theobromae*) em um povoamento de mogno africano (*Khaya ivorensis*), localizado na Reserva Extrativista do Ciriaco, no município de Cidelândia – MA.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido por discentes e docentes do curso de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). A área experimental consistiu em um povoamento de mogno africano (*Khaya ivorensis*) com 18 anos de idade, implantado em espaçamento regular de 5 × 5 m, apresentando ocorrência natural do cancro do córtex, o que possibilitou a avaliação das variáveis epidemiológicas em condições de campo.

A área localiza-se na Reserva Extrativista do Ciriaco, no município de Cidelândia – MA, caracterizada por clima equatorial úmido, com temperatura média anual variando entre 22 °C e 38 °C e presença de aproximadamente três meses de estação seca (IBGE, 2002). Os solos predominantes são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, ocorrendo também, em menor proporção, Latossolo Amarelo distrófico, Luvisolo Háptico órtico e Neossolo Flúvico Ta eutrófico (IBGE, 2024).

Foi realizado um inventário florestal censitário, no qual todas as árvores do povoamento foram avaliadas quanto à presença de sintomas do cancro do córtex causado por *Lasiodiplodia theobromae*. A variável epidemiológica ocorrência da doença foi determinada com base na presença ou ausência de sintomas nas plantas. A severidade foi avaliada por meio da escala diagramática proposta por Reis et al.

(2019), variando de 0 a 3, em que 0 corresponde a plantas assintomáticas e os valores subsequentes indicam níveis crescentes de severidade.

Simultaneamente, foram mensuradas as variáveis dendrométricas: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e altura comercial. Todos os dados foram organizados em banco de dados para análise estatística.

Inicialmente, procedeu-se à análise descritiva das variáveis dendrométricas e epidemiológicas, com determinação de média, valores mínimo e máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, visando caracterizar a variabilidade dos dados. Posteriormente, foi realizada análise de correlação entre as variáveis dendrométricas e epidemiológicas (ocorrência e severidade da doença), a fim de verificar a associação entre o estado fitossanitário das plantas e seu desempenho em crescimento.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

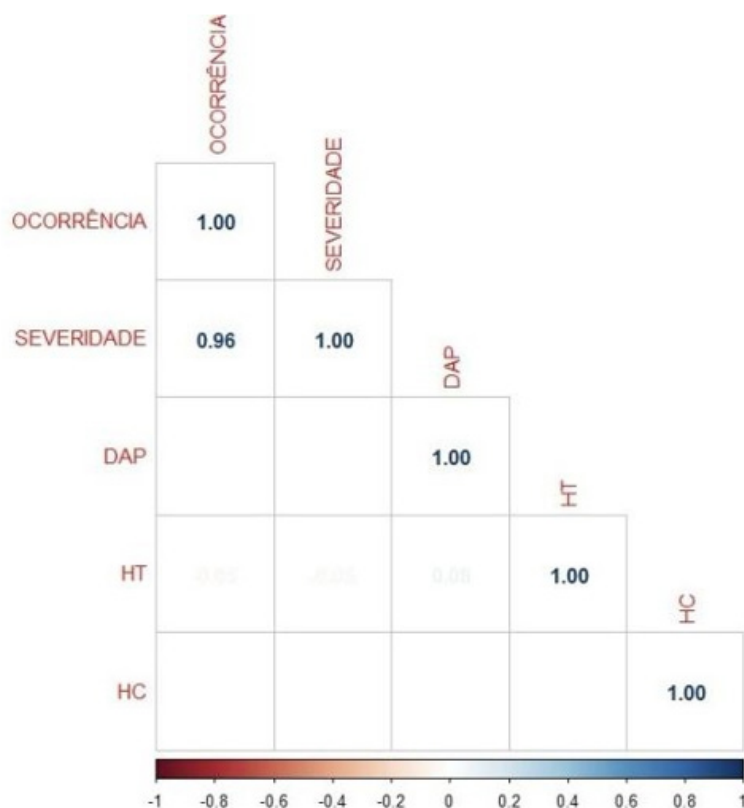
A análise de correlação entre as variáveis fitossanitárias (ocorrência e severidade da doença) e dendrométricas (DAP, altura total e altura comercial) permitiu identificar padrões consistentes e coerentes com a dinâmica da doença observada em campo. Verificou-se correlação positiva significativa ($r = 0,96$) entre ocorrência e severidade (Figura 1), indicando que o aumento da proporção de plantas doentes está diretamente associado à intensificação dos sintomas.

Por outro lado, não foram observadas correlações significativas entre as variáveis fitossanitárias (ocorrência e severidade) e as variáveis dendrométricas (Figura 1). Esse resultado indica ausência de associação entre o porte das árvores e a presença ou intensidade da doença, sugerindo que o cancro do córtex ocorre de forma independente do crescimento estrutural das plantas. Assim, tanto árvores de menor quanto de maior porte apresentaram níveis semelhantes de ocorrência e severidade da doença nas condições avaliadas.

A elevada incidência do cancro do córtex, associada à predominância de plantas no nível máximo de severidade (nível 3), evidencia a alta favorabilidade das condições edafoclimáticas da região Tocantina do Maranhão ao desenvolvimento da doença. Esse resultado corrobora estudos anteriores que relatam elevada incidência do patógeno em espécies do gênero *Khaya*. Ribeiro et al. (2021), por exemplo, observaram incidência de 82% da doença em plantios de *Khaya senegalensis* no município de Ubaporanga, Minas Gerais, reforçando a suscetibilidade dessas espécies a *Lasiodiplodia theobromae*.

A ausência de correlação entre variáveis fitossanitárias e dendrométricas sugere que os impactos da doença podem não se manifestar diretamente no crescimento das árvores, ao menos no curto prazo ou nas condições avaliadas. Nesse sentido, é plausível que os principais prejuízos estejam relacionados à qualidade da madeira, especialmente em aspectos físicos e estéticos, conforme já relatado na literatura. Entretanto, a persistência da doença ao longo do tempo pode comprometer o valor comercial do produto final, o que reforça a importância da adoção de estratégias de monitoramento e manejo fitossanitário.

Figura 1. Correlação entre variáveis dendrométricas e variáveis epidemiológicas (ocorrência e severidade) do cancro do córtex (*Lasiodiplodia theobromae*) em povoamento de mogno africano (*Khaya ivorensis*) localizado na reserva extrativista do Ciriaco, Cidelândia – MA



Ocorrência: Presença/ausência da doença na planta; Severidade: Percentual da superfície da planta com sintomas; DAP: Diâmetro a Altura do Peito; HT: Altura Total; HC: Altura Comercial.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

CONCLUSÃO

Com este estudo foi possível demonstrar elevada ocorrência do cancro do córtex, atingindo 80% das plantas avaliadas no povoamento de mogno africano. Apesar da alta intensidade da doença, não foram observadas correlações significativas entre as variáveis fitossanitárias (ocorrência e severidade) e as variáveis dendrométricas, indicando que, nas condições da Região Tocantina do Maranhão, a doença se manifesta de forma independente do porte das árvores.

Com esses resultados é possível inferir que os principais impactos do cancro do córtex podem estar mais associados à qualidade comercial da madeira do que ao crescimento dendrométrico das plantas. Dessa forma, reforça-se a importância do monitoramento fitossanitário contínuo como estratégia para mitigar prejuízos econômicos em plantios comerciais de *Khaya ivorensis*.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos de longo prazo visando avaliar os efeitos da doença sobre as propriedades tecnológicas e a qualidade da madeira, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de manejo da cultura.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L. et al. Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos, ed. 5. São Paulo:
- BELAN, L.L. et al. Análise geoestatística da mancha aureolada em mudas de cafeeiro no viveiro. Summa Phytopathologica, v.44, n.4, p.317-325, 2018.
- GUIMARÃES, Karine Valadares. Estudo fitoquímico da madeira nobre *Khaya ivorensis* (Meliaceae) imune a *Hypsipyla grandella* e sua adaptação química ao *Botryosphaeria rhodina*. São Carlos: UFSCar, 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, 2007.
- IBGE. **Subordens do SiBCS - Cidelândia**. 2024. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 27 abril. 2026.
- REIS, C. A. F. et al. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.
- RIBEIRO, A. et al. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. Floresta e Ambiente, v. 24, 2017.
- RIBEIRO, A.; SANGIOGO, M.; SOUSA, R.M. de; FERRAZ FILHO, A.C. Evolution of canker severity and stem quality on African mahogany growth. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.58, e03380, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023,v58.03380>.
- RIBEIRO, Humberto Corrêa Bonfim et al. Ocorrência de cancro do córtex em mogno africano (*Khaya senegalensis*) no município de Ubaporanga, Minas Gerais. In: **Anais do Seminário de Iniciação Científica IFMG**. Anais...Belo Horizonte(MG) IFMG, 2021. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-antiores/resumos-2021/ciencias-agrarias/ocorrencia-de-cancro-do-cortex-em-mogno-africano-khaya-senegalensis-no-municipio-de-ubaporanga-minas-gerais.pdf>. Acesso em: 27 abril. 2026.
- SOUZA, G. J. T. Fitopatógenos associados a mancha foliar em mogno africano (*khaya ivorensis*), no município de castanhal-PA. In: **Anais do III Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER pdvagro 2018**. Anais... Teresina(PI), 2018. ISSN: 2526-7701. Disponível em: <<https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2019/01/FITOPAT%C3%93GENOS-ASSOCIADOS-A-MANCHA-FOLIAR-EM-MOGNO-AFRICANO-Khaya-ivorensis-NO-MUNICIPIO-DE-CASTANHAL-PA.-1.pdf>> Acesso em: 26 abril. de 2026.
- TREMACOLDI, C. R. et al. Cancro em mogno africano no estado do Pará. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 33, n. 74, p. 221-225, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.74.415.
- VAZ, M. M. et al. Levantamento de doenças em espécies de plantas agrícolas e florestais na região tocantina do maranhão. In: **Anais do XXV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XI Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba**. Anais... [Online]: 2021. ISBN: 978-65-88226- 03-2. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2021/anais/arquivos/0385_0486_01.pdf> Acesso em: 27 abril. 2026.
- VAZ, Marcelo Martins; BELAN, Leônidas Leoni. Patologia florestal e coleção fitopatológica de doenças de espécies florestais cultivadas e não cultivadas na região tocantina do maranhão. In: **Anais da Semana Acadêmica de Pesquisa, Inovação e Extensão da Uemasul**. Anais...Imperatriz (MA) UEMASUL, 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/sapiensuemasul2022/463088-PATOLOGIA-FLORESTAL-E-COLECAO-FITOPATOLOGICA-DE-DOENCAS-DE-ESPECIES-FLORESTAIS-CULTIVADAS-E-NAO-CULTIVADAS-NAREG>>. Acesso em: 27 abril. 2026.

WEBBER, T. V. et al. Control techniques and evaluation of pathogen influence on African mahogany (*Khaya grandifoliola* C. Dc.) infected by *Lasiodiplodia theobromae* Pat. **European Journal Plant Pathology**, 159, 427–432, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02153-z>.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990.

Densidade a granel do coco babaçu para produção artesanal de carvão vegetal na Reserva Extrativista do Ciriaco, Cidelândia – MA

Bulk density of babassu coconut for artisanal charcoal production in the Ciriaco Extractive Reserve, Cidelândia – MA

SILVA, Joana Darc Neves¹; SANTOS, Bruno Silva Lucena²; SANTOS, Fabricia Costa³; SANTO, Carleane Nascimento do Espírito⁴; NASCIMENTO, Otavio Felipe Costa⁵; BARROS JUNIOR, Udson de Oliveira⁶; RAABE, Joabel⁷; LIMA, Michael Douglas Roque⁸

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, bruno.s.santos@uemasul.edu.br; ² joana.silva@uemasul.edu.br; ³ fabricia.santos@uemasul.edu.br; ⁴ carleane.santo@uemasul.edu.br; ⁵ otavio.nascimento@uemasul.edu.br; ⁶ udson@uemasul.edu.br; ⁷ joabel.raabe@uemasul.edu.br; ⁸ michael.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

Este estudo avaliou a influência das condições do coco babaçu (*Attalea speciosa*) na densidade a granel, com e sem umidade, visando subsidiar inferências sobre seu uso na produção artesanal de carvão vegetal. A pesquisa foi conduzida na Reserva Extrativista do Ciriaco (MA), utilizando biomassa em diferentes condições: in natura, parcialmente seca, deteriorada, resíduos e mistura. A densidade a granel foi determinada pelo método gravimétrico. Os resultados indicaram efeito das condições da biomassa, com maiores valores observados para os materiais íntegros. A remoção da umidade resultou em reduções de 18,6% a 34,3% na densidade a granel. Os achados indicam que a densidade a granel é influenciada pela condição da biomassa e constitui parâmetro relevante para inferências sobre logística e desempenho em sistemas artesanais de carbonização.

Palavras-chave: biomassa lignocelulósica; bioenergia; extrativismo.

INTRODUÇÃO

O babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) é um recurso florestal não madeireiro de elevada relevância socioeconômica para comunidades extrativistas da Amazônia brasileira, sendo amplamente utilizado como fonte de energia na forma de carvão vegetal. Nesse contexto, a produção ocorre majoritariamente em sistemas artesanais, caracterizados por baixa padronização da matéria-prima e limitada eficiência operacional.

A qualidade da biomassa constitui um fator determinante no desempenho do processo de carbonização, sendo influenciada por variáveis como teor de umidade, estado de conservação e heterogeneidade do material (Mota *et al.*, 2015). Além disso, propriedades físicas como a densidade a granel assumem papel central, uma vez que estão diretamente relacionadas à carga mássica em reatores de volume fixo e à eficiência logística da cadeia produtiva (Fadeyibi *et al.*, 2020).

Apesar da relevância do babaçu na produção de carvão vegetal, estudos que avaliem a influência das condições da biomassa sobre a densidade a granel, especialmente em contextos de manejo tradicional, ainda são escassos. Essa lacuna

limita a compreensão das relações entre qualidade da matéria-prima e desempenho operacional em sistemas artesanais.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a densidade a granel do coco babaçu em diferentes condições de conservação, com e sem umidade, visando subsidiar inferências sobre seu comportamento em sistemas de produção artesanal de carvão vegetal.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada no município de Cidelândia, estado do Maranhão, em área de ocorrência natural de babaçu (*Attalea speciosa*), onde a produção de carvão vegetal é realizada em sistema artesanal, caracterizado por tambores metálicos de 200 L.

A biomassa utilizada foi constituída por cocos da palmeira babaçu (*Attalea speciosa*) coletados em áreas de extrativismo e em local de estocagem. Foram consideradas diferentes condições da biomassa: cocos recém-caídos da palmeira (*in natura*), cocos submetidos à secagem natural em ambiente coberto por aproximadamente 15 dias, e cocos com sinais de bioteterioração (fungos), representando a variabilidade do manejo tradicional. Adicionalmente, foram incluídas amostras misturadas (mix) e resíduos oriundos do processamento do coco babaçu, compostos predominantemente por cascas (epicarpo e mesocarpo). Na Tabela 1 são descritas as condições de amostragem do coco babaçu utilizado no presente estudo, bem como o número de repetições consideradas.

Tabela 1 – Classificação do coco babaçu oriundo da Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada em Cidelândia – MA

Classificação do coco babaçu	Nº de repetições	Local de amostragem
Coco babaçu <i>in natura</i>	5	Área de extrativismo
Coco babaçu parcialmente seco	5	Local de estocagem
Coco babaçu deteriorado	5	Área de extrativismo
Resíduos (cascas)	10	Local de estocagem
Mix (<i>in natura</i> , parcialmente secos, deteriorados e resíduos)	10	Área de extrativismo e local de estocagem

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, com pesagem das amostras antes e após secagem em estufa a 103 ± 2 °C até massa constante, conforme a ASTM E871-82 (ASTM, 2019), adaptado às condições das amostras analisadas. A densidade a granel foi determinada pelo método gravimétrico, utilizando recipiente quadrado de madeira com volume conhecido (0,064 m³). O material foi depositado livremente no recipiente, sem compactação, com posterior nivelamento da superfície, conforme a norma NBR 6922 da ABNT (1981). A densidade foi obtida pela razão entre a massa do material e o volume do recipiente. Foram realizadas 3 repetições, sendo determinada com e sem umidade. Os valores de umidade utilizados no presente estudo estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de umidade na base seca (UBS) para os diferentes tratamentos avaliados

Classificação do coco babaçu	UBS (%)
Coco babaçu <i>in natura</i>	52,22
Coco babaçu parcialmente seco	22,87
Coco babaçu deteriorado	41,51
Resíduos (cascas)	26,79
Mix (<i>in natura</i> , parcialmente secos, deteriorados e resíduos)	30,28

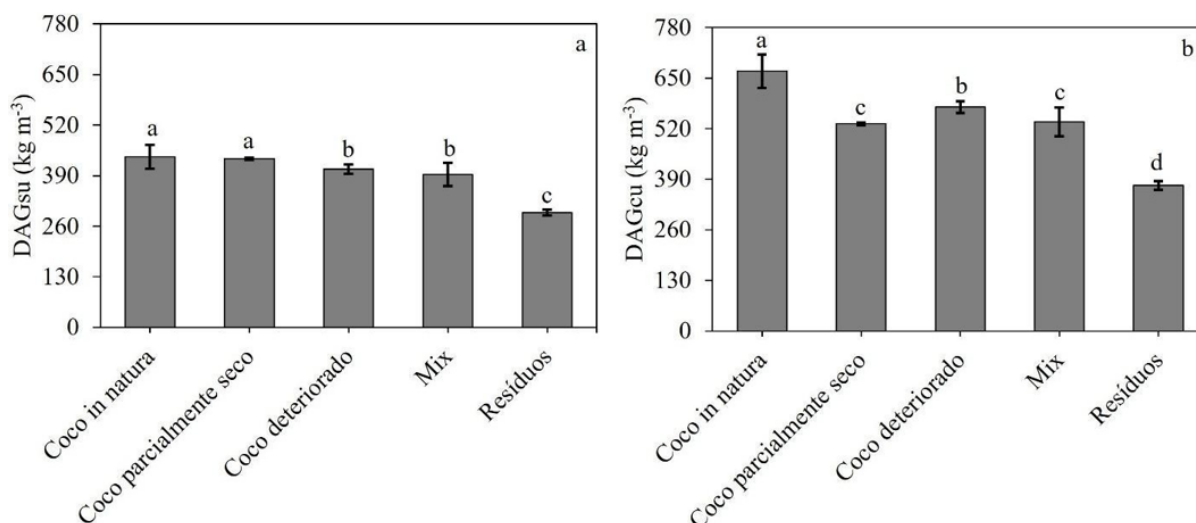
Os dados passaram por análise descritiva e, posteriormente, foram verificados os pressupostos da análise de variância por meio dos testes de Shapiro-Wilk (normalidade dos resíduos), Levene (homogeneidade de variâncias) e Durbin-Watson (autocorrelação dos resíduos), ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Atendidas as condições, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) para avaliação do efeito das condições da biomassa. Quando identificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.4.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo dos tratamentos sobre a densidade a granel, com (DAGcu) e sem (DAGsu) umidade, do coco babaçu ($p < 0,05$). Os coeficientes de variação foram de 4,98% para DAGcu e 5,11% para DAGsu. A significância observada na análise de variância ($p < 0,05$) indica que os tratamentos influenciaram de forma consistente a densidade a granel do coco babaçu. Esse comportamento é esperado, uma vez que a umidade afeta diretamente a massa específica aparente do material e sua acomodação no volume, alterando a densidade. Os baixos coeficientes de variação (inferiores a 6%) evidenciam boa precisão experimental e homogeneidade das amostras, conferindo confiabilidade aos resultados obtidos.

Para a variável DAGsu, observou-se a formação de três grupos distintos. Os tratamentos coco *in natura* (438,69 kg m⁻³) e “coco parcialmente seco” (433,36 kg m⁻³) apresentaram as maiores médias, não diferindo entre si (grupo a). Em um segundo nível, “coco deteriorado” (406,88 kg m⁻³) e “mix” (393,45 kg m⁻³) formaram um grupo intermediário (grupo b) (Figura 1). O tratamento resíduo apresentou a menor DAGsu (294,85 kg m⁻³), diferindo dos demais (grupo c). Para a variável DAGcu, foram identificados quatro grupos. O coco *in natura* apresentou a maior média (667,77 kg m⁻³), diferindo de todos os demais (grupo a). O coco deteriorado apresentou valor intermediário superior (575,78 kg m⁻³), formando grupo isolado (grupo b). Os tratamentos mix (537,46 kg m⁻³) e coco parcialmente seco (532,46 kg m⁻³) não diferiram entre si (grupo c). O resíduo apresentou novamente a menor média (373,83 kg m⁻³), constituindo grupo distinto (grupo d). Em suma, A remoção da umidade resultou em reduções na densidade a granel variando de 18,6 a 34,3%.

Figura 1 – Dados médios de densidade a granel sem umidade (DAGsu) (a) e com umidade (DAGcu) (b) do coco babaçu oriundo da Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada em Cidelândia – MA



A separação dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott confirma que o estado físico e a umidade influenciam significativamente a densidade a granel do coco babaçu. O menor desempenho do “resíduo” em ambas as condições está associado à sua composição por frações leves e à menor eficiência de empacotamento, comportamento já reportado para biomassa particulada, na qual a densidade a granel é fortemente dependente da distribuição granulométrica e da forma das partículas (Fadeyibi *et al.*, 2020).

Na condição sem umidade (DAGsu), a formação de três grupos indica que as diferenças são controladas principalmente pela integridade estrutural do material. Os maiores valores observados para “in natura” e “parcialmente seco” refletem melhor arranjo volumétrico, enquanto a redução observada no material biodegradado está associada à degradação estrutural e aumento da porosidade. O tratamento “mix” apresentou comportamento intermediário, coerente com a heterogeneidade das frações que o compõem.

Na condição com umidade (DAGcu), a maior discriminação entre os tratamentos evidencia o efeito combinado da água e da estrutura do material. O aumento da densidade a granel com a umidade está associado ao incremento da massa por unidade de volume e à possível reorganização das partículas. Entretanto, esse ganho volumétrico não implica melhoria energética do sistema.

Sob a perspectiva operacional em sistemas artesanais de carbonização (tambores de 200 L), a densidade a granel determina a carga mássica por batelada. Materiais com maior densidade a granel permitem maior inserção de massa por ciclo, aumentando a produtividade gravimétrica de carvão. No entanto, a umidade elevada implica consumo adicional de energia para evaporação, reduzindo a eficiência térmica do processo. Por outro lado, materiais com baixa densidade a granel, como os resíduos, reduzem a carga mássica por volume e implicam menor eficiência logística (transporte e armazenamento) (Evaristo *et al.*, 2016; Fadeyibi *et al.*, 2020). Assim, os resultados evidenciam que materiais parcialmente secos são mais adequados para otimizar simultaneamente carga volumétrica e eficiência energética.

CONCLUSÕES

A densidade a granel do coco babaçu foi significativamente influenciada pelo estado físico e umidade da biomassa. Sem umidade, os tratamentos mais promissores foram o coco in natura e o parcialmente seco, que apresentaram as maiores densidades, indicando maior eficiência volumétrica. Em termos aplicados, maiores densidades favorecem a logística e o aproveitamento volumétrico em sistemas de carbonização, enquanto menores densidades implicam maior volume e menor carga por batelada. Assim, a densidade a granel se configura como um parâmetro-chave para a tomada de decisão na cadeia produtiva do carvão vegetal de babaçu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 6922**: carvão vegetal – ensaios físicos de determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E871-82**: Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. West Conshohocken: ASTM International, 2019.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macaúba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, v. 85, p. 18-24. 2016.

FADEYIBI, A.; ADEBAYO, K. R.; OBAFEMI, T. M.; OLUBO, A. S.; BUSARI, R. A.; YISA, M. G. Development and evaluation of biomass-based alternative charcoal. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 51, n. 1, p. 161-168, 2020.

MOTA, F. A. S.; VIEGAS, R. A.; LIMA, A. A. S.; SANTOS, F. F. P.; CASELLI, F. T. R. Pirólise da biomassa lignocelulósica: uma revisão. **Revista GEINTEC**, v. 5, n. 4, p. 2511-2525, 2015.

Desenvolvimento de um modelo didático para demonstração do funcionamento de motores de 2 tempos

Development of a didactic model for demonstrating the operation of 2-stroke engines

CASTRO, Ludimila Freire de¹; BEZERRA, Ana Lúcia Moraes¹; SOARES, Bruno Eduardo Caldas Leão¹; SILVA, Daniel Mourada da¹; VIEIRA, Larissa Marinho¹; LIMA, Roldão Carlos Andrade¹

¹Uemasul, ludimila.castro@uemasul.edu.br, ana.bezerra@uemasul.edu.br, bruno.soares@uemasul.edu.br, daniel.mourada@uemasul.edu.br, larissa.vieira@uemasul.edu.br, roldao.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

O estudo aborda a importância dos sistemas de conversão de energia na formação técnica, com foco nos motores de 2 tempos, caracterizados por sua simplicidade construtiva e elevada densidade de potência. Fundamentado em princípios da termodinâmica e na necessidade de metodologias que reduzam a abstração no ensino, o trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo didático funcional. A maquete construída demonstrou, de forma clara, o ciclo operacional e o mecanismo biela-manivela, contribuindo para a compreensão dos processos envolvidos. Os resultados evidenciam a eficácia do recurso como ferramenta pedagógica acessível, de baixo custo e aplicável ao ensino técnico e à Engenharia Florestal, promovendo a integração entre teoria e prática.

Palavras-chave: Mecanização florestal; Recurso pedagógico; Aprendizagem pedagógica.

INTRODUÇÃO

A compreensão dos sistemas de conversão de energia constitui elemento fundamental na formação em engenharia e em áreas técnicas, especialmente no estudo dos motores de combustão interna. Nesse contexto, os motores de 2 tempos destacam-se por sua configuração simplificada, na qual o ciclo termodinâmico completo ocorre em apenas duas movimentações do pistão, integrando os processos de admissão, compressão, combustão e exaustão de forma compacta (Heywood, 2018; Stone, 2012). Tal característica resulta em elevada densidade de potência e menor complexidade construtiva, fatores que justificam sua ampla aplicação em equipamentos semimecanizados e sistemas de pequeno porte (Pulkrabek, 2004).

Do ponto de vista teórico, o funcionamento dos motores de combustão interna está fundamentado nos princípios da termodinâmica, especialmente no que se refere à conversão de energia química em energia mecânica, bem como em conceitos da mecânica dos fluidos e transferência de calor (Çengel; Boles, 2013; Moran *et al.*, 2018). No caso específico dos motores de 2 tempos, a sobreposição entre as etapas do ciclo implica desafios relacionados à eficiência energética e ao controle de emissões, uma vez que parte da mistura ar-combustível pode ser perdida durante o processo de exaustão (Heywood, 2018; Stone, 2012). Ainda assim, sua simplicidade operacional

e menor número de componentes continuam a torná-los relevantes em diversas aplicações técnicas (Pulkrabek, 2004).

No âmbito educacional, a literatura aponta que a aprendizagem de conceitos abstratos, como os envolvidos no funcionamento de máquinas térmicas, é significativamente favorecida pela utilização de recursos didáticos que promovam a visualização e a experimentação. De acordo com Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando novos conhecimentos são relacionados a estruturas cognitivas previamente existentes. Complementarmente, a literatura destaca a importância da mediação e de instrumentos no processo de construção do conhecimento, enfatizando o papel dos recursos didáticos como facilitadores da aprendizagem (Vygotsky, 2007). Nesse sentido, modelos didáticos constituem ferramentas pedagógicas eficazes ao permitir a representação concreta de fenômenos complexos, contribuindo para a integração entre teoria e prática (Libâneo, 2013).

Diante desse cenário, justifica-se o desenvolvimento de um modelo didático voltado à demonstração do funcionamento de motores de 2 tempos, como forma de reduzir a lacuna entre o conhecimento teórico e sua aplicação prática. A ausência de recursos experimentais em muitos contextos educacionais pode dificultar a compreensão de processos dinâmicos e cíclicos, tornando o ensino excessivamente abstrato e limitando a aprendizagem significativa (Libâneo, 2013; Ausubel, 2003). Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo didático funcional capaz de demonstrar, de maneira clara e acessível, o funcionamento de um motor de 2 tempos.

METODOLOGIA

A maquete do motor de 2 tempos foi desenvolvida a partir de materiais de baixo custo e fácil acesso, como E.V.A, papelão e estruturas cilíndricas reaproveitadas, apresentando dimensões compatíveis com a proposta didática do trabalho.

Figura 1A. Etapas da construção da maquete didática do motor de 2 tempos, evidenciando a confecção do pistão, do cilindro e dos componentes estruturais utilizados na montagem



Fonte: Autores (2026).

O modelo construído incorporou os principais componentes do sistema, conforme descrito a seguir:

- a) Biela: 10,5 cm × 2,3 cm;
- b) Cilindro (interno): 5,5 cm de diâmetro × 8,3 cm de altura;
- c) Cilindro externo de papelão: 34 cm de altura × 5,5 cm de diâmetro;
- d) Virabrequim: 6 cm × 6 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do ponto de vista funcional, a maquete permitiu a representação satisfatória do ciclo de 2 tempos, evidenciando as etapas de compressão/combustão e admissão/exaustão em movimentos alternados do pistão. Mesmo sem combustão real, o deslocamento mecânico simulado demonstrou de forma clara a conversão do movimento linear em movimento rotacional por meio do sistema biela-manivela, conforme descrito na literatura clássica de motores de combustão interna (Heywood, 2018; Pulkrabek, 2004).

A utilização de cores distintas de E.V.A (branco, preto e cinza) contribuiu significativamente para a diferenciação visual dos componentes, favorecendo a identificação das partes móveis e fixas do sistema. Esse aspecto reforça a eficácia do modelo como ferramenta pedagógica, uma vez que a diferenciação visual auxilia na organização cognitiva da informação, conforme discutido por Ausubel (2003) no contexto da aprendizagem significativa.

Figura 1B. Maquete didática do motor de dois tempos finalizada, evidenciando a estrutura completa e os componentes utilizados para demonstração do seu funcionamento.



Fonte: Autores (2026)

Além disso, o modelo demonstrou robustez estrutural adequada para uso em atividades práticas e apresentações, mantendo estabilidade durante a simulação manual do funcionamento. A escolha do papelão como base (1 m × 1 m) garantiu

suporte suficiente, embora com limitações quanto à durabilidade em longo prazo, especialmente em ambientes com elevada umidade — condição comum em regiões de atuação da engenharia florestal.

No que se refere à relevância para a Engenharia Florestal, destaca-se que motores de 2 tempos são amplamente utilizados em equipamentos essenciais para atividades de campo, como motosserras, roçadeiras e pulverizadores costais. Esses equipamentos são fundamentais para operações de manejo, colheita florestal e manutenção de áreas, sendo caracterizados pela necessidade de leveza, portabilidade e manutenção simplificada (Machado; Lopes, 2014). Dessa forma, a compreensão do funcionamento desses motores contribui diretamente para a formação técnica do engenheiro florestal, permitindo melhor diagnóstico de falhas, uso adequado e tomada de decisões relacionadas à manutenção e eficiência operacional.

Adicionalmente, a utilização de um modelo didático facilita a assimilação de conceitos relacionados à eficiência energética e impactos ambientais, aspectos particularmente relevantes na engenharia florestal contemporânea. Motores de 2 tempos, embora eficientes em termos de potência específica, apresentam maiores emissões de poluentes devido à queima incompleta de combustível e perda de mistura durante o ciclo (Heywood, 2018). A visualização desses processos por meio da maquete contribui para a conscientização sobre práticas mais sustentáveis e o uso racional de tecnologias no setor florestal.

Entretanto, o modelo apresenta limitações importantes. Primeiramente, por se tratar de uma representação simplificada, não contempla fenômenos fundamentais como combustão real, transferência de calor, dinâmica dos gases e perdas energéticas, o que restringe sua aplicação a níveis introdutórios de ensino. Além disso, as proporções adotadas não seguem rigorosamente escalas industriais, podendo gerar interpretações equivocadas caso não haja mediação adequada do docente.

Outro aspecto limitante refere-se à ausência de sistemas auxiliares presentes em motores reais, como sistema de ignição, lubrificação e alimentação de combustível, elementos essenciais para o funcionamento completo do motor. A simplificação estrutural, embora necessária para fins didáticos, reduz a complexidade do sistema representado.

Por fim, a durabilidade dos materiais utilizados (especialmente E.V.A e papelão) pode ser comprometida com o uso contínuo, exigindo manutenção ou substituição periódica do modelo. Ainda assim, considerando o baixo custo e a facilidade de construção, o modelo apresenta excelente relação custo-benefício para aplicações educacionais.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o desenvolvimento do modelo didático de motor de 2 tempos atendeu ao objetivo proposto, ao possibilitar a representação clara e funcional do ciclo operacional e dos principais componentes do sistema. Os resultados demonstraram que a maquete é eficaz na facilitação da compreensão dos processos de conversão de energia e da dinâmica do mecanismo biela-manivela, contribuindo para a redução do nível de abstração no ensino de máquinas térmicas. Como principais contribuições para a área, destaca-se a proposição de um recurso pedagógico acessível, de baixo

custo e facilmente replicável, que favorece a integração entre teoria e prática no ensino técnico e em Engenharia Florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. 2. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática**. São Paulo: Cortez, 2013.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014.

MORAN, Michael J. et al. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2004.

STONE, Richard. **Introduction to Internal Combustion Engines**. 4. ed. London: Palgrave Macmillan, 2012.

VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

Distribuição espacial das formações campestres no Cerrado do estado do Maranhão e sua relação com fatores ambientais da paisagem

Spatial distribution of grassland formations in the Cerrado biome of the state of Maranhão and their relationship with environmental landscape factors

MORAIS, Brunna Ribeiro¹; SANTOS, Fabricia Costa²; FRANÇA, Frederico Araújo³; GOMES, Josielly Guimaraes⁴; SOUZA, Argel Costa⁵; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁶; RAABE, Joabel⁷; ANGELO, Dalton Henrique⁸.

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), brunna.morais@uemasul.edu.br; ² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), fabricia.santos@uemasul.edu.br; ³ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), frederico.franca@uemasul.edu.br; ⁴ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), josielly.gomes@uemasul.edu.br; ⁵ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), argelsouza1@gmail.com; ⁶ Universidade do Estado do Pará (UEPA), chaiane.r.schneider@uepa.br; ⁷ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), joabel.raabe@uemasul.edu.br; ⁸ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) dalton.angelo@uemasul.edu.br

RESUMO

O estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial das formações campestres no Cerrado do estado do Maranhão e investigar sua relação com fatores ambientais da paisagem, especialmente geomorfologia e classes pedológicas. Para isso, foram utilizados dados ambientais provenientes do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA/IBGE) e da plataforma TerraBrasilis (INPE), processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os resultados indicam que a ocorrência das formações campestres está associada principalmente a áreas dominadas por chapadas, patamares e tabuleiros, onde predominam Latossolos e Argissolos. A diferenciação entre as fitofisionomias campestres pode ser compreendida a partir de atributos estruturais da vegetação e condições ambientais associadas, como o predomínio do estrato herbáceo no campo limpo, a presença de arbustos esparsos no campo sujo e a ocorrência de afloramentos rochosos no campo rupestre.

Palavras-chave: Fitofisionomia; Cobertura vegetal; Análise ambiental.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é reconhecido como um dos principais hotspots de biodiversidade do planeta, apresentando elevada riqueza florística e altos níveis de endemismo. Estima-se que o bioma abrigue mais de 7.000 espécies de plantas vasculares, evidenciando grande diversidade de formas de vida e elevada heterogeneidade estrutural (Ratter et al., 2006).

Além de sua importância biológica, o Cerrado desempenha funções ecossistêmicas fundamentais, especialmente na regulação hídrica, atuando como área de recarga de importantes bacias hidrográficas da América do Sul (Estrabis et al., 2019). Sua vegetação inclui diferentes formações fisionômicas, como formações campestres, savânicas e florestais, cuja ocorrência está associada a gradientes

ambientais e à heterogeneidade da paisagem.

Entre essas formações, destacam-se as formações campestres, caracterizadas pela predominância do estrato herbáceo e pela presença reduzida ou esparsa de elementos arbóreos. A distribuição dessas formações está relacionada a fatores ambientais como propriedades edáficas, condições climáticas e características geomorfológicas. Variáveis como fertilidade do solo, teor de argila e pH influenciam a estrutura e composição das comunidades vegetais, enquanto fatores climáticos e geográficos contribuem para a diferenciação florística e a variabilidade espacial da vegetação no bioma (Amaral *et al.*, 2022; Mariano *et al.*, 2020).

No estado do Maranhão, localizado na porção norte do bioma Cerrado e em zona de transição com outros domínios fitogeográficos, as formações campestres apresentam distribuição espacial heterogênea e ainda são pouco exploradas em estudos de escala regional.

O estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial das formações campestres no Cerrado maranhense e investigar sua relação com fatores ambientais da paisagem.

METODOLOGIA

A área de estudo corresponde à porção do bioma Cerrado localizada no estado do Maranhão, na região Nordeste do Brasil, incluindo áreas de transição com outros domínios fitogeográficos (Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico da análise espacial e da dinâmica temporal das formações campestres no Cerrado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para a análise da distribuição das formações campestres foram utilizados dados ambientais provenientes do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA), referentes às classes pedológicas e unidades geomorfológicas (IBGE, 2026), além de dados de vegetação do bioma Cerrado disponibilizados pela plataforma TerraBrasilis (INPE, 2026).

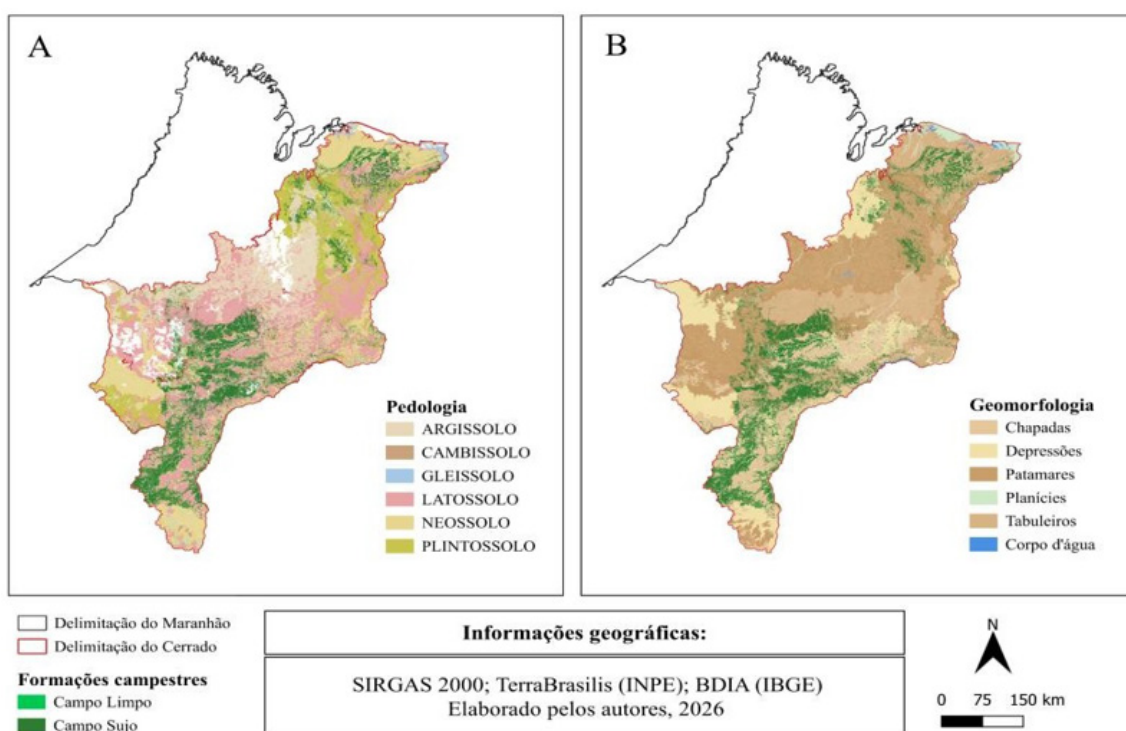
O processamento e a análise espacial foram realizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica utilizando o software QGIS (QGIS Development Team, 2024), incluindo o recorte das camadas para o Cerrado maranhense e a sobreposição das formações campestres com os dados de solos e geomorfologia para análise de sua relação com os condicionantes ambientais da paisagem.

Além disso, foi realizada uma revisão bibliográfica narrativa sobre as fitofisionomias campestres do Cerrado, com base em publicações especializadas, visando reunir informações sobre características estruturais, condições ambientais associadas e espécies indicadoras. Os dados compilados subsidiaram a elaboração dos Quadros 1 e 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da relação entre vegetação, geomorfologia e classes de solos evidencia que a distribuição das formações campestres no Cerrado do estado do Maranhão está associada a condicionantes ambientais da paisagem (Figura 2).

Figura 2. Distribuição espacial das formações campestres e sua associação com as classes pedológicas (A) e unidades geomorfológicas (B) no Cerrado maranhense



Fonte: Elaborado pelos autores (2026). **Dados utilizados:** Banco de Dados e Informações Ambientais – BDIA (IBGE, 2026) e TerraBrasilis (INPE, 2026).

Observa-se maior ocorrência dessas formações em áreas dominadas por chapadas, patamares e tabuleiros, unidades geomorfológicas que geralmente apresentam superfícies relativamente estáveis e solos bem drenados. Do ponto de vista pedológico, destaca-se a predominância de Latossolos e Argissolos nas áreas onde as formações campestres são mais expressivas, solos típicos de ambientes altamente

intemperizados do Cerrado (Figura 2A). Propriedades físico-químicas do solo, como teor de argila, pH e disponibilidade de nutrientes, influenciam significativamente a composição e a estrutura das comunidades vegetais, condicionando a distribuição das diferentes fisionomias do bioma (Amaral *et al.*, 2022).

Fatores geomorfológicos e variações de substrato também contribuem para a diferenciação florística em escala regional, especialmente em áreas de transição ambiental, onde características do relevo e da paisagem influenciam a organização espacial da vegetação (Souza *et al.*, 2023; Maracahipes-Santos *et al.*, 2017).

As formações campestres do Cerrado apresentam diferentes fitofisionomias que podem ser diferenciadas a partir de atributos estruturais da vegetação e de características ambientais associadas (Quadro 1).

Quadro 1. Atributos estruturais e ambientais utilizados na diferenciação das fitofisionomias campestres do Cerrado

Fitofisionomia	Estrutura da vegetação	Condições ambientais	Solos associados	Outros indicadores
Campo Limpo	Predomínio herbáceo, ausência de árvores	áreas planas, encostas, bordas de veredas	Neossolos, Cambissolos, Plintosolos, Gleissolos	lençol freático variável
Campo Sujo	Herbáceo e arbustos esparsos	solos rasos ou distróficos	solos pobres ou rasos	presença de murundus
Campo Rupestre	Herbáceo-arbustivo com afloramentos rochosos	altitudes maiores e relevo acidentado	solos rasos e pedregosos	presença de rochas

Fonte: Ribeiro e Walter (2021).

O campo limpo caracteriza-se pelo predomínio do estrato herbáceo, com ausência ou raridade de elementos arbóreos, ocorrendo frequentemente em áreas planas ou suavemente onduladas, podendo também estar associado a ambientes com influência hídrica, como bordas de veredas. O campo sujo, por sua vez, apresenta estrutura herbáceo-arbustiva, com presença de arbustos esparsos e ocorrência comum em solos rasos ou distróficos. Já o campo rupestre está associado a ambientes com afloramentos rochosos, geralmente em áreas de maior altitude e relevo mais acidentado, com solos rasos e pedregosos, evidenciando forte influência das condições geomorfológicas sobre a estrutura da vegetação (Ribeiro e Walter, 2021).

Além dos padrões estruturais e ambientais, a composição florística dessas formações é marcada pela predominância de espécies herbáceas, especialmente gramíneas da família Poaceae (Quadro 2).

Quadro 2. Espécies indicadoras de formações campestres do Cerrado registradas na literatura

Família	Espécie	Forma de vida	Ambiente associado
Poaceae	<i>Trachypogon spicatus</i> (L.f.) Kuntze	Herbácea (gramínea)	Campo limpo / savanas abertas
	<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth	Herbácea (gramínea)	Campo limpo
	<i>Axonopus aureus</i> P. Beauv.	Herbácea (gramínea)	Campo limpo e áreas abertas
	<i>Aristida</i> spp.	Herbácea (gramínea)	Campos secos
	<i>Paspalum</i> spp.	Herbácea (gramínea)	Campos abertos
Cyperaceae	<i>Rhynchospora</i> spp.	Herbácea (ciperácea)	Áreas úmidas / veredas
	<i>Cyperus</i> spp.	Herbácea (ciperácea)	Áreas úmidas
Malpighiaceae	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Subarbustiva	Campo sujo
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	Arbórea	Cerrado típico / campo sujo
	<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Arbustiva / liana	Cerrado típico
Velloziaceae	<i>Vellozia</i> spp.	Herbácea/subarbus-to	Solos arenosos / afloramentos

Fonte: Dados compilados de Mendonça et al. (2008); Soares et al. (2010); Ribeiro e Walter (2008).

Espécies como *Trachypogon spicatus*, *Andropogon leucostachyus* e *Axonopus aureus* são frequentemente associadas a ambientes de campo limpo e savanas abertas (Mendonça et al., 2008). Espécies da família Cyperaceae, como *Rhynchospora* spp. e *Cyperus* spp., ocorrem principalmente em áreas úmidas ou veredas, indicando a influência de gradientes hidrológicos na estrutura da vegetação (Soares et al., 2010). Por outro lado, espécies arbustivas e arbóreas, como *Byrsonima verbascifolia* e *Curatella americana*, estão associadas a ambientes de campo sujo ou cerrado típico, evidenciando a transição entre diferentes fisionomias do bioma (Ribeiro e Walter, 2008).

Esses resultados reforçam a importância de considerar os condicionantes ambientais da paisagem na compreensão da distribuição das formações campestres do Cerrado, especialmente em regiões de transição como o estado do Maranhão. A relação entre relevo, características do solo e composição florística contribui para a organização espacial dessas formações e para a diferenciação entre as fitofisionomias campestres descritas na literatura.

CONCLUSÕES

As formações campestres do Cerrado maranhense apresentam distribuição espacial associada aos condicionantes ambientais da paisagem, concentrando-se principalmente em áreas de chapadas, patamares e tabuleiros. A análise espacial evidenciou forte associação dessas formações com Latossolos e Argissolos, indicando a influência conjunta da geomorfologia e das classes pedológicas na organização da vegetação campestre. Esses resultados contribuem para a compreensão dos fatores ambientais que condicionam a distribuição dessas formações no estado do Maranhão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. G., BIJOS, N. R., MOSER, P., & MUNHOZ, C. B. R. Spatially structured soil properties and climate explain distribution patterns of herbaceous-shrub species in the Cerrado. **Plant Ecology**, v. 223, n. 1, p. 85-97, 2022.

ESTRABIS, N. V., MARCATO JUNIOR, J., & PISTORI, H. Mapeamento da Vegetação Nativa do Cerrado na Região de Três Lagoas-MS com o Google Earth Engine. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, p. 702-725, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 16 de abril de 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados e Informações Ambientais** (BDIA). Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 23 de abril de 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **TerraBrasilis: Bioma Cerrado - Vegetação**. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 23 de abril de 2026.

MARACAHIPES-SANTOS, L., LENZA, E., SANTOS, J. O., MEWS, H. A., & OLIVEIRA, B. Effects of soil and space on the woody species composition and vegetation structure of three Cerrado phytogeographies in the Cerrado-Amazon transition. **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, n. 4, p. 830-839, 2017.

MARIANO, G. V. P., RIOS, J. M., ROCHA, G. T., SILVA, V. P. G. da, SANTOS, L. C. da S., JÚNIOR, V. D. de O., & VALE, V. S. do. (2020). Quais variáveis ambientais melhor explicam a diferenciação estrutural e florística de cerrado stricto sensu e floresta estacional semidecidual. **Advances in Forestry Science**, v.7, n.3, p. 1153–1169.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C. DA; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. DE S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, 2008.

Qgis Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 31 mar. 2026.

RATTER, J. A., BRIDGEWATER, S., & RIBEIRO, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrado. In: **Neotropical savannas and seasonally dry forests**. CRC press, 2006. p. 31-66.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Bioma Cerrado: **Vegetação Campestre**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/vegetacao/campestre>. Acesso em: 28 de abril de 2026.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008.

SOARES, Z. T., DA SILVA COSTA, A. P., SOARES, E. F., & CAVALCANTI, V. F. S. (2010). Levantamento Florístico e Fitossociológico em uma área de cerrado no Sudoeste do Maranhão. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 12, n. 2, 2010.

SOUZA, P. C. G., DA LUZ LIMA MOTA, S., CORRÊA, R. S., & PINTO, J. R. R. How substrate type and elevation drive woody communities and influence species ecological strategies in the Brazilian savanna at local scale. **Ecological Research**, v. 38, n. 6, p. 815-827, 2023. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12413>.

Distribuição espacial das Unidades de Conservação Federais no Maranhão e sua relação com biomas e formações de cobertura da terra

Spatial distribution of Federal Conservation Units in Maranhão and their relationship with biomes and land cover formations

SOUSA, Ednilson Araújo de¹; TORRES, Esthefany Oliveira²; SILVA, Gabriely Moreira³; CONCEIÇÃO, Robson Alves⁴; OLIVEIRA, Vinícius Pessoa⁵; SOUZA, Argel Costa⁶; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁷; ANGELO, Dalton Henrique⁸.

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), ednilsonaraujosousa@gmail.com; ² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), esthefanytorres.20200003313@uemasul.edu.br; ³ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), gabrielysilva.20200003430@uemasul.edu.br; ⁴ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), robson.conceicao@uemasul.edu.br; ⁵ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), vinicius.oliveira@uemasul.edu.br; ⁶ Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), argelsouza1@gmail.com; ⁷ Universidade do Estado do Pará (UEPA), chaiane.r.schneider@uepa.br; ⁸ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), dalton.angelo@uemasul.edu.br

RESUMO

O objetivo do estudo foi analisar a distribuição espacial das Unidades de Conservação Federais no estado do Maranhão, considerando sua relação com os biomas e as principais formações de cobertura e uso da terra. A pesquisa adotou abordagem qualitativa e quantitativa, baseada em levantamento bibliográfico, análise documental e tratamento de dados geoespaciais obtidos na base cartográfica do ICMBio e no MapBiomas, processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (QGIS). Foram identificadas 15 unidades, distribuídas entre categorias de proteção integral e uso sustentável, totalizando aproximadamente 2,6 milhões de hectares. A análise espacial indica sua presença nos biomas Amazônia e Cerrado, associadas principalmente a formações florestais e savânicas. Os resultados evidenciam a importância dessas áreas para a conservação da biodiversidade, embora persistam desafios relacionados às pressões da expansão agropecuária e à gestão das áreas protegidas.

Palavras-chave: biodiversidade; áreas protegidas; uso do território.

INTRODUÇÃO

A conservação da biodiversidade constitui um dos principais desafios ambientais do século XXI, especialmente em regiões tropicais sujeitas a intensas transformações no uso da terra. Nesse contexto, as áreas protegidas desempenham papel fundamental na preservação de ecossistemas e na manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais. Estudos indicam que essas áreas podem reduzir significativamente as taxas de desmatamento e contribuir para a proteção da biodiversidade em diferentes regiões do planeta (Kim e Anand, 2021).

Entretanto, a efetividade das áreas protegidas depende de fatores institucionais,

sociais e territoriais que influenciam sua gestão e capacidade de fiscalização. Em muitos países em desenvolvimento, essas unidades enfrentam limitações relacionadas à escassez de recursos financeiros, fragilidade institucional e dificuldades na implementação de políticas ambientais, o que pode comprometer os resultados esperados em termos de conservação ambiental (Dung, 2019).

Mudanças no uso da terra têm intensificado pressões sobre ecossistemas naturais, especialmente em regiões de expansão agrícola. A conversão de vegetação nativa para atividades agropecuárias tem provocado alterações significativas nos ecossistemas, particularmente em biomas tropicais como o Cerrado, onde grande parte da vegetação original já foi transformada em áreas agrícolas e pastagens (Klink e Machado, 2005). Mudanças climáticas e processos de intensificação produtiva também podem ampliar os impactos ambientais associados à expansão da fronteira agrícola (Marengo *et al.*, 2022).

No Brasil, as Unidades de Conservação constituem um dos principais instrumentos de proteção ambiental e de ordenamento territorial. No estado do Maranhão, essas áreas são relevantes para a conservação de ecossistemas associados aos biomas Amazônia e Cerrado, além de ambientes costeiros que apresentam elevada diversidade biológica e crescente pressão antrópica. Apesar de sua importância, ainda são limitados os estudos que analisam a distribuição espacial dessas unidades em relação aos biomas e às principais formações de cobertura e uso da terra no estado.

O objetivo do estudo foi analisar a distribuição espacial das Unidades de Conservação Federais no estado do Maranhão, considerando sua relação com os biomas e as principais formações de cobertura e uso da terra, bem como os desafios associados à sua gestão.

METODOLOGIA

A pesquisa possui abordagem quantitativa e qualitativa, de caráter descritivo, baseada em levantamento bibliográfico e análise documental sobre as Unidades de Conservação federais no estado do Maranhão. Foram utilizados dados geoespaciais do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2026) e informações de cobertura e uso da terra do MapBiomas (2025).

Os dados foram processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS (versão 3.40.12), permitindo a análise espacial da distribuição das unidades em relação aos biomas e às principais formações de cobertura e uso da terra no estado.

Como produtos da análise foram elaborados mapas temáticos da distribuição das Unidades de Conservação e uma tabela com suas principais características (Figura 1).

Figura 1. Metodologia de análise das Unidades de Conservação federais no Maranhão



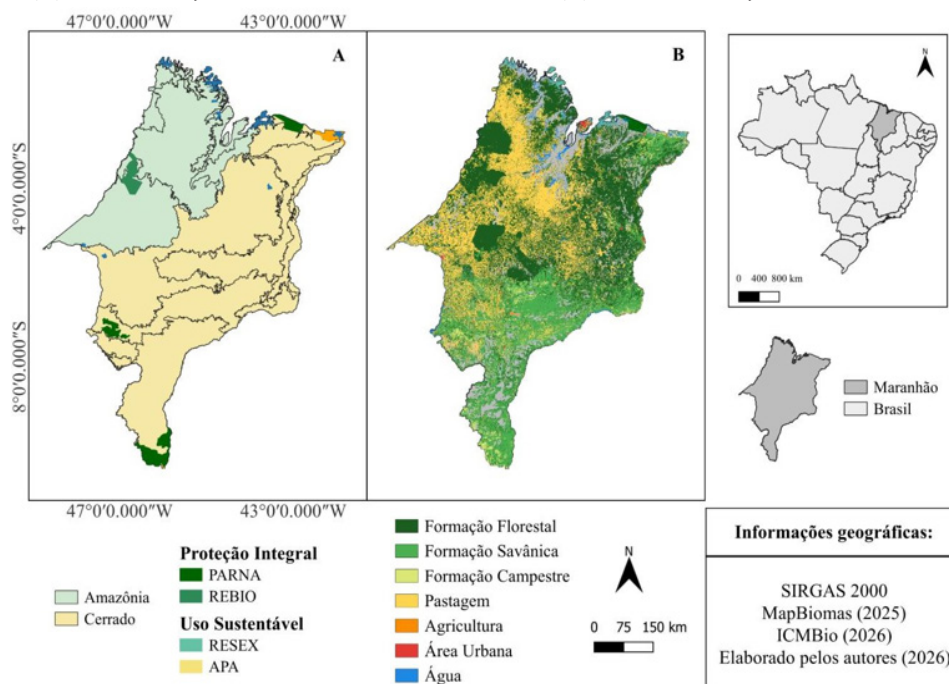
Fonte. Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição espacial das Unidades de Conservação Federais no Maranhão evidencia um padrão heterogêneo no território estadual (Figura 2). Observa-se maior concentração dessas áreas em regiões costeiras, no setor oeste associado ao bioma Amazônia e em áreas do sul do estado, enquanto regiões centrais apresentam menor presença de unidades protegidas.

A análise espacial indica que essas unidades estão distribuídas entre os biomas Amazônia e Cerrado, ocupando diferentes formações de cobertura e uso da terra. Nas áreas do norte e noroeste do estado, predominam formações florestais associadas ao domínio amazônico, onde se concentram unidades como a Reserva Biológica do Gurupi e parte das reservas extrativistas. Já nas porções sul e centro-sul, inseridas majoritariamente no bioma Cerrado, as unidades ocorrem em áreas com presença de formações savânicas e campestres, além de regiões influenciadas por atividades agropecuárias.

Figura 2. Distribuição das Unidades de Conservação Federais no estado do Maranhão em relação aos biomas (A) e às formações de cobertura e uso da terra (B), com localização no contexto do Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

No total, foram identificadas 15 Unidades de Conservação federais no Maranhão, distribuídas entre categorias de Proteção Integral e Uso Sustentável, totalizando aproximadamente 2,6 milhões de hectares protegidos (Tabela 1). Observa-se predominância de unidades de uso sustentável, especialmente Reservas Extrativistas, o que reflete a importância das populações tradicionais na conservação e no uso sustentável dos recursos naturais. Essas áreas permitem conciliar a proteção ambiental com a manutenção de atividades tradicionais, aspecto frequentemente destacado na literatura sobre gestão de áreas protegidas no Brasil (Ferreira e Almeida, 2023).

Além da função ecológica, as Unidades de Conservação possuem função estratégica na proteção de ecossistemas representativos e na manutenção de serviços ecossistêmicos, contribuindo para a conservação da biodiversidade e para o ordenamento territorial (Brasil, 2000; ICMBio, 2022). No entanto, a efetividade dessas áreas depende de fatores institucionais e de gestão, uma vez que muitas unidades enfrentam desafios relacionados à fiscalização, disponibilidade de recursos e conflitos socioambientais no uso do território (Oliveira e Costa, 2021).

No caso do Maranhão, essas questões tornam-se particularmente relevantes diante da expansão da fronteira agrícola em áreas de Cerrado e regiões de transição ecológica. A conversão de vegetação nativa para atividades agropecuárias tem intensificado as pressões sobre os ecossistemas naturais, reforçando a importância das Unidades de Conservação como instrumentos fundamentais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Klink e Machado, 2005).

Tabela 1. Unidades de Conservação Federais no Estado do Maranhão, com respectivas categorias de manejo e áreas territoriais (ha).

Grupo	Categoria	Nº	Unidades de Conservação (UC's)	Área (ha)	
Proteção Integral	PARNA	1	Parque Nacional da Chapada das Mesas	159.953	
		2	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba	749.770	
	REBIO	3	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses	157.174	
		4	Reserva Biológica do Gurupi	271.465	
Total (1)				1.338.362	
Uso Sustentável	APA	5	Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba	309.588	
		6	Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga	41.779	
		7	Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba	270.219	
		8	Reserva Extrativista Mata Grande	11.432	
		9	Reserva Extrativista de Cururupu	186.053	
	RESEX	10	Reserva Extrativista do Quilombo do Frechal	9.338	
		11	Reserva Extrativista Arapiranga-Tromaí	186.936	
		12	Reserva Extrativista Itapetininga	16.294	
		13	Reserva Extrativista da Baía do Tubaão	223.927	
		14	Reserva Extrativista do Ciriaco	8.098	
		15	Reserva Extrativista Chapada Limpa	11.908	
	Total (2)				1.275.572
	Total geral				2.613.934

APA = Área de Proteção Ambiental; PARNA = Parque Nacional; REBIO = Reserva Biológica; RESEX = Reserva Extrativista. As categorias seguem a classificação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Brasil, 2000).

CONCLUSÕES

A análise espacial das Unidades de Conservação Federais no Maranhão demonstra que essas áreas desempenham papel importante na proteção de ecossistemas associados aos biomas Amazônia e Cerrado, estando distribuídas em diferentes formações de cobertura e uso da terra no estado. Nesse contexto, essas unidades contribuem para a conservação da biodiversidade e para a manutenção de serviços ecossistêmicos, embora sua efetividade dependa do fortalecimento das políticas de gestão ambiental e da integração entre conservação e planejamento territorial diante das pressões decorrentes das mudanças no uso da terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

DUNG, N. K. Institutionalizing co-management for a sustainable future of protected areas: the case of Xuan Thuy National Park, Vietnam. In: **Protected Areas, National Parks And Sustainable Future**. London: IntechOpen, 2019.

FERREIRA, T. S.; ALMEIDA, P. R. Comunidades tradicionais e uso sustentável em áreas protegidas brasileiras. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, 2023.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Dados geoespaciais de referência da cartografia nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais. Acesso em: 18 abr. 2026.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de uso público do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses**. Barreirinhas: ICMBio, 2022.

KIM, D. H.; ANAND, A. Effectiveness of protected areas in the pan-tropics and international aid for conservation. **Geomatics**, v. 1, n. 3, p. 335–346, 2021

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

MAPBIOMAS. **MapBiomas Brasil: cobertura por classe**. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

MARENGO, J. A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J. C.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 2022.

OLIVEIRA, J. P.; COSTA, L. M. Turismo sustentável em unidades de conservação: impactos e conflitos socioambientais. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 59, p. 120–135, 2021.

Educação ambiental e letramento ecológico: o plantio de espécies do Cerrado no ensino fundamental

Environmental education and ecological literacy: planting Cerrado species in elementary school

MELO, Diego Pereira de¹; VELOSO, Anne Caroline Guimarães²; SILVA, Alessandra Cândida da¹; SILVA, Tatiane Martins da²

¹Escola Municipal Nilda Margon Vaz, Prefeitura Municipal de Catalão-GO, diegopereiramelo8@gmail.com, alessandracandida2009@gmail.com, ²Universidade Estadual de Goiás, anne.veloso@ueg.br, tatiane.silva@aluno.ueg.br

RESUMO

A educação ambiental tem se consolidado como eixo fundamental na formação de sujeitos críticos e conscientes, especialmente no contexto escolar. Este estudo objetiva analisar, por meio de revisão bibliográfica, o uso do plantio de espécies do Cerrado como prática pedagógica nos anos iniciais do ensino fundamental, com foco no desenvolvimento do letramento ecológico. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, com análise de produções acadêmicas das áreas de Educação, Pedagogia e Letras publicadas entre 2000 e 2025. Os resultados evidenciam que práticas interdisciplinares, baseadas em experiências concretas, favorecem o engajamento discente, promovem aprendizagens significativas e contribuem para a formação de valores socioambientais. Conclui-se que o uso do Cerrado como recurso pedagógico potencializa a construção do conhecimento, articulando teoria e prática e fortalecendo a formação cidadã.

Palavras-chave: Educação ambiental; Interdisciplinaridade; Ensino fundamental.

ABSTRACT

Environmental education has become a fundamental axis in the formation of critical and conscious individuals, especially in the school context. This study aims to analyze, through a literature review, the use of planting Cerrado species as a pedagogical practice in the early years of elementary school, focusing on the development of ecological literacy. The research is characterized as qualitative, with an analysis of academic productions in the areas of Education, Pedagogy, and Letters published between 2000 and 2025. The results show that interdisciplinary practices, based on concrete experiences, favor student engagement, promote meaningful learning, and contribute to the formation of socio-environmental values. It is concluded that the use of the Cerrado as a pedagogical resource enhances the construction of knowledge, articulating theory and practice, and strengthening civic education.

Keywords: Environmental education; Interdisciplinarity; Elementary school.

INTRODUÇÃO

A educação ambiental tem se consolidado como um eixo estruturante na formação de sujeitos críticos e conscientes frente às questões socioambientais contemporâneas, especialmente no contexto escolar (Carvalho, 2004). No ensino fundamental, essa abordagem deve ser articulada ao desenvolvimento das práticas de linguagem, promovendo o letramento em sua dimensão social e crítica, entendido como prática social situada (Soares, 2004).

Nesse cenário, o bioma Cerrado, reconhecido por sua biodiversidade e relevância ecológica, configura-se como um potente recurso pedagógico para a construção de conhecimentos interdisciplinares e contextualizados, especialmente em regiões como Catalão (GO), onde esse bioma integra a realidade sociocultural dos estudantes. No entanto, estudos recentes indicam lacunas na sistematização de práticas pedagógicas voltadas ao Cerrado nos anos iniciais (Soares; Tavares, 2025).

Diante disso, problematiza-se: como o plantio de espécies do Cerrado pode contribuir para o desenvolvimento do letramento ecológico nos anos iniciais do ensino fundamental? A escolha do 5º ano justifica-se por ser uma fase em que os estudantes ampliam sua capacidade crítica e de construção de valores, sendo mais receptivos a práticas educativas contextualizadas.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, como o plantio de espécies do Cerrado vem sendo discutido enquanto prática pedagógica voltada à promoção do letramento ecológico, destacando suas contribuições, limites e possibilidades no contexto dos anos iniciais do ensino fundamental

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza bibliográfica, com análise de 15 artigos selecionados a partir de critérios de inclusão, nas áreas de Educação, Pedagogia e Letras, publicados entre 2000 e 2025, constituindo o recorte temporal do estudo. O trabalho é complementado por autores clássicos, fora do recorte temporal, das áreas de Educação, Educação Ambiental e Linguagem, que fundamentam teoricamente a discussão.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science, Google Scholar e Portal de Periódicos CAPES, a partir dos descritores: “espécies nativas do Cerrado”, “bioma Cerrado”, “educação ambiental”, “práticas pedagógicas ambientais” e “letramento ecológico”. A busca inicial resultou em aproximadamente 21 estudos, sendo posteriormente submetidos à leitura de títulos, resumos e textos completos.

Como critérios de inclusão, consideraram-se: (i) artigos publicados em periódicos científicos; (ii) pesquisas sobre educação ambiental no contexto escolar; (iii) estudos que relacionassem práticas pedagógicas ao ensino de Ciências ou ao letramento; e (iv) trabalhos que contemplassem o bioma Cerrado ou práticas ambientais contextualizadas. Como critérios de exclusão, foram descartados: resumos em anais de eventos, capítulos de livros, duplicidades e estudos sem relação direta com o contexto escolar.

Após a aplicação dos critérios, foram selecionados 15 artigos para compor o

corpus da análise.

A análise dos dados foi realizada por meio de leitura interpretativa e categorização temática, organizada em três eixos: (a) práticas pedagógicas interdisciplinares; (b) educação ambiental e formação cidadã; e (c) letramento ecológico no contexto escolar.

Por se tratar de uma pesquisa bibliográfica, não houve necessidade de submissão a comitê de ética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa bibliográfica resultou na seleção de 15 estudos (Quadro 1). Como critérios de inclusão, foram considerados estudos publicados nos últimos dez anos que abordassem o plantio de espécies do Cerrado como prática pedagógica. Como critérios de exclusão, optou-se por não utilizar trabalhos provenientes de resumos publicados em anais de congressos, bem como capítulos de livros.

Quadro 1. Síntese dos estudos e referenciais teóricos analisados

Autor	Título do trabalho	Ano
Bambi, J. C.; Barros, A. J. L.; Bambi, E. B. C.	Educação ambiental na escola: práticas sustentáveis e desafios contemporâneos	2025
Barroso, F. J. R.; David, M. L. S.	Alfabetização, letramento e educação ambiental: práticas sustentáveis no ensino fundamental	2025
Magalhães, F. A. L. et al.	Educação ambiental e interdisciplinaridade no ensino fundamental: experiências e pertencimento	2025
Nunes, L. C.	Educação ambiental escolar e comunitária	2024
Soares, J. S. L.; Tavares, G. G.	Educação ambiental e Cerrado na produção acadêmica brasileira (2010–2024)	2025
Carvalho, I. C. de M.	Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico	2004
Freire, P.	Pedagogia da autonomia	1996
Soares, M.	Letramento: um tema em três gêneros	2004
Piaget, J.	A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação	1971
Vygotsky, L. S.	A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores	1991
Loureiro, C. F. B.	Educação ambiental crítica e transformação social	2012
Layrargues, P. P.	Educação ambiental e cidadania crítica	2014
Jacobi, P.	Educação ambiental, sustentabilidade e desafios urbanos	2025
Silva, L. D. da	Educação ambiental em uma escola de educação infantil em São Paulo: currículo e práticas	2017
Costa, E. C. C. F.; Adams, F. W.	Educação popular e educação do campo: práticas pedagógicas emancipatórias	2025

A análise da literatura evidencia que práticas pedagógicas baseadas em experiências concretas, como o plantio de espécies do Cerrado, favorecem o engajamento dos estudantes e promovem aprendizagens mais significativas (Bambi; Barros; Bambi, 2025). Tais práticas permitem a articulação entre teoria e prática,

contribuindo para o ensino de Ciências, o desenvolvimento de habilidades linguísticas e a construção do pensamento crítico (Barroso; David, 2025).

Observa-se a predominância de abordagens interdisciplinares, reforçando a importância da integração entre diferentes áreas do conhecimento (Magalhães et al., 2025). Essas práticas também incentivam o protagonismo estudantil, promovendo competências socioemocionais como responsabilidade, cooperação e autonomia. Os resultados não apenas confirmam a eficácia dessas práticas, mas também evidenciam a necessidade de sua maior sistematização no contexto escolar.

Entretanto, a literatura aponta limitações na sistematização dessas experiências no contexto escolar, indicando a necessidade de maior aprofundamento teórico-metodológico (Soares; Tavares, 2025). Ainda assim, destaca-se que o contato direto com o meio ambiente fortalece a construção de vínculos com o território, favorecendo uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

Além disso, a educação ambiental contribui para a formação cidadã, promovendo valores relacionados à responsabilidade socioambiental (Nunes, 2024), especialmente quando articulada à realidade local, como no caso do bioma Cerrado.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o plantio de espécies nativas do Cerrado constitui uma estratégia pedagógica potente para a promoção da educação ambiental e do letramento ecológico nos anos iniciais do ensino fundamental. A integração entre as áreas de Pedagogia e Letras fortalece o processo de ensino-aprendizagem, contribuindo para a formação de estudantes críticos e conscientes.

Práticas pedagógicas contextualizadas, inspiradas em perspectivas críticas como a de Freire (1996), ampliam as possibilidades de construção do conhecimento. O uso do Cerrado como recurso pedagógico mostra-se pertinente e necessário, especialmente em contextos locais como o de Catalão (GO).

Destaca-se, ainda, o potencial dessas práticas para serem replicadas em diferentes contextos educacionais, reforçando o papel da escola na formação de sujeitos comprometidos com a sustentabilidade, com o território e com a transformação social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAMBI, J. C.; BARROS, A. J. L.; BAMBI, E. B. C. Educação ambiental na escola: práticas sustentáveis e desafios contemporâneos. **Revista Sociedade Científica**, 2025.

BARROSO, F. J. R.; DAVID, M. L. S. Alfabetização, letramento e educação ambiental: práticas sustentáveis no ensino fundamental. **Revista ComCiência**, 2025.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

CARVALHO, I. C. de M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico**. São Paulo: Cortez, 2004.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

MAGALHÃES, F. A. L. et al. Educação ambiental e interdisciplinaridade no ensino fundamental: experiências e pertencimento. **Revista Conexão ComCiência**, 2025.

NUNES, L. C. Educação ambiental escolar e comunitária. **Revista Científica FESA**, 2024.

PIAGET, Jean. **A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação**. Rio de Janeiro: LTC, 1971.

SOARES, J. S. L.; TAVARES, G. G. Educação ambiental e Cerrado na produção acadêmica brasileira (2010–2024). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, 2025.

SOARES, M. **Letramento**: um tema em três gêneros. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

VYGOTSKY, Lev S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2008

VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

Estratégias de Amostragem do Fuste para a Determinação da Densidade Básica da Madeira de Eucalipto

Stem Sampling Strategies for Determining the Basic Density of Eucalyptus Wood

SOUZA, Wendley Gustavo Clemente de¹; ARAUJO, Stéffany de Lima²; LIMA, Michael Douglas Roque³; RAABE, Joabel⁴; ÂNGELO, Dalton Henrique⁵; LEMOS, Atus Ventura⁶; VIDAURRE, Graziela Baptista⁷; BARROS JUNIOR, Udson de Oliveira⁸

¹ Universidade da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, wendley.souza@uemasul.edu.br, michael.lima@uemasul.edu.br, joabel.raabe@uemasul.edu.br, Dalton.angelo@uemasul.edu.br, steffanylima02@yahoo.com.br, udson@uemasul.edu.br

² Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, graziela.dambroz@ufes.br

³ ArcelorMittal Bioflorestas, atus.lemos@arcelormittal.com.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar diferentes estratégias destrutivas de amostragem ao longo do fuste para a estimativa da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*, aos 5,2 anos de idade. Foram amostradas três árvores por clone, das quais foram coletados discos de madeira em diferentes posições do fuste. A determinação da densidade básica considerou quatro estratégias de amostragem do fuste: 1) Estratégia tradicional; 2) Ponto único amostral no DAP; 3) Quatro posições do fuste e 4) Três posições do fuste. A escolha das estratégias de amostragem considerou o coeficiente de determinação ajustado e a raiz do erro quadrático médio dos modelos de regressão gerados por cada estratégia. Com base neste critério, a estratégia tradicional melhor estimou a densidade básica ($R^2_{aj.} = 0,99$ e $RMSE = 0,22$). Os resultados demonstram que estratégias amostrais que consideram o maior número de posições do fuste melhor representam a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla*.

Palavras-chave: Qualidade da madeira; variação longitudinal; amostragem destrutiva.

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* possui importância estratégica para a economia brasileira, sendo a base de diversos segmentos industriais, como celulose, papel, painéis, produtos sólidos de madeira, carvão vegetal e bioenergia, o que reforça seu papel central na matriz florestal do país (Longue Júnior; Colodette, 2013). Para que esses setores obtenham matéria-prima com desempenho adequado, o entendimento das propriedades tecnológicas da madeira é indispensável. Dentre as propriedades da madeira, destaca-se a densidade básica como uma das mais relevantes, por influenciar diretamente rendimento, qualidade industrial e uso da madeira para diferentes usos (Trugilho et al., 2007).

Apesar da sua notória relevância para a indústria de base florestal, a densidade básica da madeira não é homogênea ao longo da árvore. A propriedade apresenta variações significativas no sentido longitudinal (base ao topo do fuste) e radial (medula à casca). A variação longitudinal, em particular, é um desafio para a amostragem, pois

a densidade pode aumentar ou diminuir da base para o topo, dependendo da espécie e do clone, e também devido à proporção de madeira juvenil em diferentes partes do tronco (Bonfatti Júnior *et al.*, 2023; Couto *et al.*, 2012.). Logo, a coleta de uma amostra isolada no diâmetro à altura do peito (DAP), comum nos inventários florestais, pode gerar erros de estimativa da densidade da madeira.

O método mais preciso para determinar a densidade média da árvore requer a amostragem de discos em múltiplas alturas ao longo do fuste, sendo, entretanto, um procedimento **destrutivo, oneroso e demorado**. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes estratégias destrutivas de amostragem ao longo do fuste para a estimativa da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* de modo a responder à seguinte pergunta norteadora: i) que estratégia de amostragem melhor estima a densidade básica da madeira?

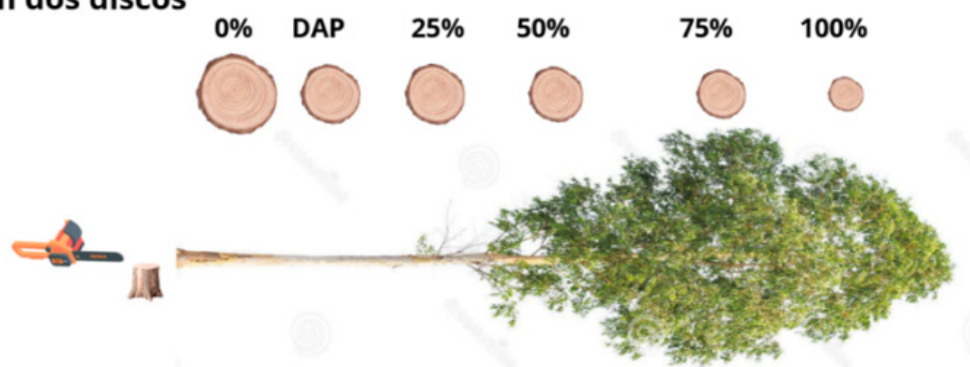
METODOLOGIA

O estudo foi realizado em plantios experimentais de *E. urophylla* aos 5,2 anos de idade, localizados no município de Bom Despacho, Minas Gerais. Os plantios foram estabelecidos sob o espaçamento de 4,5 × 2,0 m, em solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico manejado com correção e adubação. O clima da região é do tipo Cwa, com temperatura média anual de 22,4 °C e precipitação de 1.186 mm, segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2014).

Foram avaliados nove clones de *E. urophylla*, dos quais três árvores por clone foram amostradas, totalizando 27 indivíduos selecionados. De cada árvore abatida foram coletados discos de madeira, de aproximadamente 5 cm de espessura, ao longo do fuste nas posições da base (0%), no DAP e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do fuste, considerando o diâmetro mínimo de 5 cm, de acordo com o recomendado por Downes *et al.*, (1997) (Figura 1).

Figura 1: Esquema de amostragem e coleta da madeira

A) Amostragem dos discos



Fonte: Autor (2025).

As estratégias destrutivas de amostragem consistiram de quatro abordagens diferentes, esquematicamente representadas na Figura 2 e destacadas abaixo:

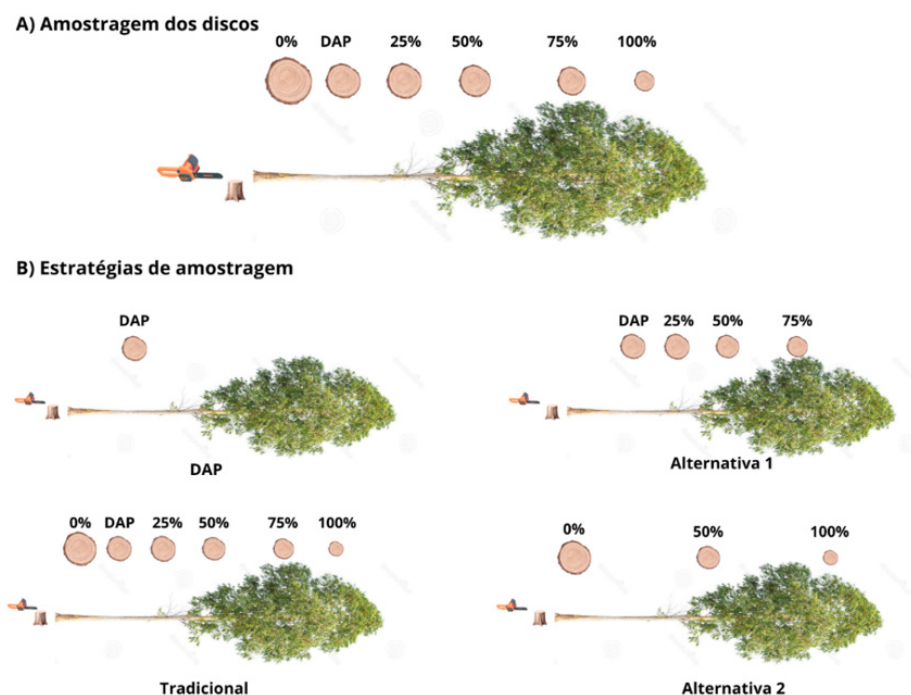
Estratégia Padrão (Referência): Remoção de discos nas posições da base (0%), no DAP e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do fuste.

Ponto único amostral: no DAP.

Alternativa 1: no DAP, 25%, 50%, 75% da altura comercial.

Alternativa 2: na base (0%), 50%, 100% da altura comercial.

Figura 2. Representação esquemática da amostragem de discos ao longo do fuste e das estratégias de amostragem avaliadas



Fonte. Autor (2025).

A determinação da densidade básica foi realizada pelo método da balança hidrostática, conforme os procedimentos descritos na norma NBR 11941 (ABNT, 2003). As amostras foram inicialmente imersas em água até a completa saturação, para a determinação do volume saturado. Posteriormente, foram secas em estufa em estufa de circulação forçada de ar $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante, para obtenção da massa seca. A densidade básica média de cada árvore foi obtida a partir da média aritmética das densidades determinadas em todas as posições amostradas ao longo do fuste na Estratégia 1, utilizada como referência neste estudo. As demais estratégias de amostragem foram comparadas em relação a essa referência, buscando avaliar sua capacidade de estimar a densidade básica média da madeira com menor intensidade amostral.

As estratégias de amostragem do fuste foram definidas com base na avaliação do desempenho estatístico dos modelos de regressão ajustados. Para isso, considerou-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) como medida da capacidade explicativa dos modelos, aliado ao erro quadrático médio (EQM), utilizado para mensurar a precisão das estimativas. A combinação desses dois critérios permitiu selecionar as estratégias amostrais que proporcionaram melhor equilíbrio entre

ajuste e erro, garantindo maior confiabilidade na representação das variáveis de interesse ao longo do fuste. Os modelos de regressão foram ajustados utilizando-se o software R Studio, versão 4.6.0 (R Core Team, 2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que as estratégias alternativas apresentaram diferentes níveis de precisão em relação à estratégia tradicional, adotada como referência neste estudo. A Estratégia 3 apresentou o melhor desempenho entre as alternativas avaliadas ($R^2_{aj} = 0,96$; RMSE = 6,65), seguida da Estratégia 4 ($R^2_{aj} = 0,94$; RMSE = 7,78), demonstrando que o uso de múltiplos pontos amostrais distribuídos ao longo do fuste permite estimativas mais precisas da densidade básica média. Em contrapartida, a Estratégia 2, baseada exclusivamente no DAP, apresentou desempenho inferior ($R^2_{aj} = 0,69$; RMSE = 19,12), evidenciando que a utilização de apenas um ponto amostral não representa adequadamente a variabilidade longitudinal da madeira ao longo do fuste.

Tabela 1. Desempenho estatístico dos modelos de regressão ajustados para diferentes estratégias de amostragem do fuste de *Eucalyptus urophylla*

Estratégia	Pr(>F)	R^2_{aj}	RMSE	Equação ajustada
1	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	0,99	0,22	$DB_{média} = -0,05961 + 0,169 \cdot DB_{0\%} + 0,166 \cdot DB_{DAP} + 0,165 \cdot DB_{25\%} + 0,165 \cdot DB_{50\%} + 0,17 \cdot DB_{75\%} + 0,164 \cdot DB_{100\%}$
2	$5,55 \cdot 10^{-8}$	0,69	19,12	$DB_{média} = 206,3625 + 0,623 \cdot DB_{DAP}$
3	$1,73 \cdot 10^{-15}$	0,96	6,65	$DB_{média} = 32,4954 + 0,181 \cdot DB_{DAP} + 0,219 \cdot DB_{25\%} + 0,246 \cdot DB_{50\%} + 0,301 \cdot DB_{75\%}$
4	$4,02 \cdot 10^{-15}$	0,94	7,78	$DB_{média} = 4,5526 + 0,353 \cdot DB_{DAP} + 0,342 \cdot DB_{50\%} + 0,307 \cdot DB_{100\%}$

1: Estratégia padrão; 2: Ponto único amostral no DAP; 3: Alternativa 1; 4: Alternativa 2.

As Estratégias 3 e 4 apresentaram desempenho satisfatório em relação à estratégia tradicional, indicando que a utilização de três ou quatro pontos amostrais distribuídos ao longo do fuste pode representar adequadamente a densidade básica média da madeira com redução do esforço amostral. Embora a ampliação do número de pontos de coleta contribua para o aumento da precisão das estimativas, os resultados demonstram que estratégias intermediárias podem constituir alternativas viáveis em situações nas quais se busca equilíbrio entre confiabilidade e custo operacional. Por outro lado, a utilização exclusiva do DAP resultou em perda significativa de precisão, reforçando a limitação de medições pontuais para representar a variabilidade longitudinal da madeira.

Os resultados obtidos evidenciam que a qualidade do ajuste dos modelos está fortemente associada à representatividade da amostragem ao longo do fuste, o que explica o desempenho superior da estratégia tradicional em relação às demais. Esse comportamento é relatado na literatura (Araujo et al., 2025; Nornberg et al., 2023), uma vez que a variabilidade longitudinal das propriedades da madeira e das dimensões do fuste dificilmente são observadas por medições pontuais, como no caso do uso exclusivo do DAP.

Nesse sentido, embora estratégias simplificadas apresentem vantagens operacionais, como redução de tempo e custo de coleta, elas tendem a comprometer

a precisão das estimativas, conforme observado pelos maiores valores de erro quadrático médio. Por outro lado, as estratégias 3 e 4 demonstraram desempenho satisfatório, indicando que é possível otimizar o processo amostral por meio da seleção criteriosa de posições ao longo do fuste que representem adequadamente sua variabilidade. Assim, a escolha da estratégia mais adequada deve considerar não apenas os indicadores estatísticos de ajuste, mas também o objetivo do estudo e os recursos disponíveis, especialmente em contextos aplicados, como inventários florestais e avaliação tecnológica da madeira, nos quais a relação entre custo e precisão é um fator determinante.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a estratégia de amostragem do fuste exerce influência significativa sobre a precisão das estimativas da densidade básica da madeira. As estratégias com maior número de pontos amostrais ao longo do fuste apresentaram melhor desempenho, evidenciando a importância de uma amostragem mais representativa para descrever a variabilidade longitudinal da madeira.

Por outro lado, o uso exclusivo do DAP mostrou-se inadequado para representar satisfatoriamente a variabilidade da madeira ao longo do fuste, resultando em menor precisão das estimativas. As Estratégias 3 e 4, por sua vez, apresentaram desempenho satisfatório, configurando-se como alternativas viáveis quando se busca reduzir o esforço amostral sem comprometer de forma significativa a qualidade das estimativas. Dessa forma, recomenda-se a adoção de estratégias que conciliem representatividade e viabilidade operacional, considerando os objetivos do estudo e os recursos disponíveis, especialmente em atividades operacionais do setor florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941 – Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ARAUJO, S. L. et al. Sampling strategies along the tree stem to determine the basic density of *Eucalyptus urophylla* wood. *Cerne*, v. 31, e-103500, 2025.

BONFATTI JÚNIOR, E. A. et al. Basic wood density, fiber dimensions, and wood chemical composition of four *Eucalyptus* species planted in southern Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 47, n. 4, e4704, 2023.

COUTO, A. M. et al. Longitudinal alternative sampling for determination of the basic density in *Eucalyptus* sp. clones. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 184–193, abr./jun. 2012.

DOWNES, G. M. et al. *Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties*. Melbourne: CSIRO Publishing, 1997.

LONGUE JÚNIOR, D.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, p. 76–528, 2013.

NORNBERG, L. V. et al. Otimização de pontos amostrais ao longo do fuste pra determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Nativa**, v. 11, n. 1, p. 128-133, 2023.

R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2026.

SANTOS, O. P.; PIMENTEL, N. Otimização de pontos amostrais ao longo do fuste para determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Nativa**, Sinop, v. 11, n. 1, e15068, 2023.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 111–119, 2007.

Formações savânicas do Cerrado no Maranhão: distribuição espacial e caracterização ecológica

Savanna formations of the Cerrado in Maranhão: spatial distribution and ecological characterization

SOUSA, Pedro Gustavo Oliveira ¹; SALES, Bianca Dutra Bandeira ²; SANTO, Carleane Nascimento do Espírito ³; SILVA, Carleane Oliveira da ⁴; MOURA, Luiz Cláudio Araújo Beserra de ⁵; LIMA, Wesley Moura ⁶; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues ⁷; ANGELO, Dalton Henrique ⁸

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pedro.oliveira.sousa@uemasul.edu.br; ² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), bianca.bandeira@uemasul.edu.br; ³ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), carleanenascimento922@gmail.com; ⁴ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), carlianeoliveira1010@gmail.com; ⁵ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), luiz.moura@uemasul.edu.com; ⁶ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), wesley.lima@uemasul.edu.br; ⁷ Universidade do Estado do Pará (UEPA), chaiane.r.schneider@uepa.br; ⁸ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), dalton.angelo@uemasul.edu.br

RESUMO

O objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial e a caracterização ecológica das formações savânicas do Cerrado no estado do Maranhão. A pesquisa foi desenvolvida por meio da análise de dados geoespaciais, utilizando informações pedológicas do BDIA/IBGE, limites territoriais do IBGE e dados auxiliares da plataforma TerraBrasilis, processados em ambiente SIG por meio do software QGIS. Os resultados evidenciaram a predominância de formações do Cerrado sentido restrito, com variações estruturais entre cerrado ralo, típico e denso, associadas principalmente às características dos solos e às condições ambientais. Observou-se que áreas com menor fertilidade e retenção hídrica apresentam formações mais abertas, enquanto regiões mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal concentram formações mais densas. A representação esquemática das fisionomias permitiu evidenciar diferenças estruturais e adaptações ecológicas das espécies. Conclui-se que a distribuição dessas formações está diretamente relacionada a gradientes ambientais, reforçando a importância de sua compreensão para subsidiar estratégias de conservação no Cerrado maranhense.

Palavras-chave: Fitofisionomias; Pedologia; Vegetação.

INTRODUÇÃO

As formações savânicas do Cerrado brasileiro constituem um dos principais tipos de vegetação do país, destacando-se por sua complexidade ecológica e elevada diversidade biológica. No estado do Maranhão, essas formações ocupam uma área expressiva e configuram uma zona de transição entre diferentes biomas, contribuindo para a heterogeneidade das paisagens e para a diversidade de espécies, resultante da interação entre diferentes condições ambientais (Pinheiro, 2010).

As formações savânicas, representadas principalmente pelo Cerrado sentido

restrito, apresentam variações estruturais relacionadas à densidade da vegetação lenhosa, como cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso. Essa diversidade fisionômica reflete diferentes condições ambientais e constitui um dos principais fatores responsáveis pela elevada biodiversidade do bioma, evidenciando a relação entre estrutura da vegetação e fatores ecológicos (Pereira *et al.*, 2023).

A composição florística dessas formações é marcada pela presença de espécies adaptadas a condições ambientais específicas, como solos pobres em nutrientes e sazonalidade climática. Destacam-se famílias como as leguminosas, que desempenham papel importante na ciclagem de nutrientes e na manutenção da fertilidade do solo, contribuindo para o equilíbrio ecológico dessas áreas (Gomes; Silva; Conceição, 2019).

Apesar de sua importância ecológica, o Cerrado maranhense tem sido submetido a pressões antrópicas, como expansão agrícola e desmatamento, resultando em alterações significativas na vegetação e na biodiversidade. Nesse contexto, estudos voltados à caracterização dessas formações tornam-se essenciais para subsidiar ações de conservação e manejo sustentável (Silva; Sauer, 2022).

Entretanto, ainda são limitados os estudos que integram a análise espacial das formações savânicas com sua caracterização estrutural e ecológica em escala regional, especialmente no estado do Maranhão, o que dificulta uma compreensão mais abrangente da organização e dinâmica dessas formações.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espacial das formações savânicas do Cerrado no estado do Maranhão, bem como caracterizar suas principais variações estruturais. Busca-se, ainda, compreender as diferenças entre essas formações com base em suas características ecológicas e composição vegetal, contribuindo para uma melhor interpretação da organização da vegetação no bioma.

METODOLOGIA

A metodologia adotada baseou-se na análise de dados geoespaciais para a identificação e caracterização das formações savânicas no estado do Maranhão (Figura 1). Foram utilizados dados pedológicos obtidos junto ao Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA (IBGE, 2025a) e limites territoriais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025b), todos padronizados no sistema de referência geodésico SIRGAS 2000. Informações auxiliares foram obtidas por meio da plataforma TerraBrasilis (INPE, 2025). O processamento e a organização dos dados foram realizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS, onde foram executadas etapas de recorte espacial, classificação das formações savânicas e integração com os dados de pedologia, permitindo a elaboração do mapa temático e a análise da distribuição dessas formações no Cerrado maranhense.

Figura 1. Fluxograma das etapas metodológicas utilizadas na análise das formações savânicas do Cerrado no estado do Maranhão



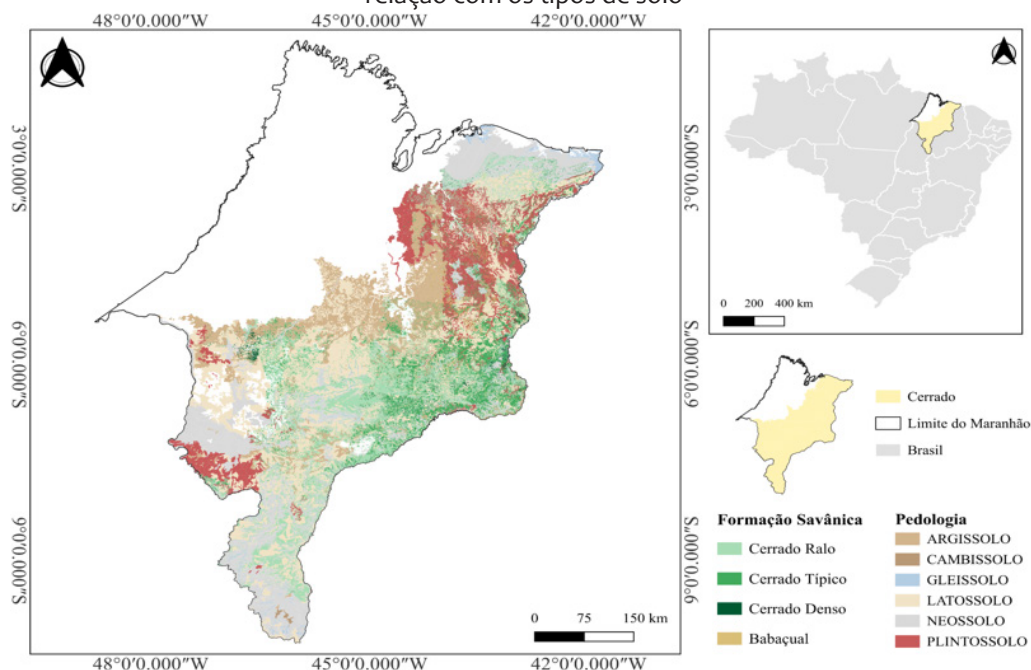
Fonte: Autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da distribuição espacial das formações savânicas no Maranhão (Figura 2) evidencia um padrão fortemente condicionado por fatores edáficos, refletindo a influência direta dos tipos de solo na organização da vegetação.

82

Figura 2. Distribuição espacial das formações savânicas do Cerrado no estado do Maranhão e sua relação com os tipos de solo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026); **Dados geográficos:** SIRGAS2000; BDIA (IBGE, 2025a); Limites territoriais (IBGE, 2025b); TerraBrasilis (INPE, 2025).

Observa-se que áreas associadas a solos com menor fertilidade e menor capacidade de retenção hídrica tendem a apresentar formações mais abertas, como o Cerrado Ralo, enquanto regiões com maior disponibilidade de nutrientes e melhor retenção de água favorecem o desenvolvimento de formações mais densas (Spera *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2008). Esse padrão reforça a ideia de que a heterogeneidade dos solos é um dos principais elementos responsáveis pela configuração do mosaico vegetacional do Cerrado, influenciando tanto a estrutura quanto a composição das comunidades (Abadia *et al.*, 2018).

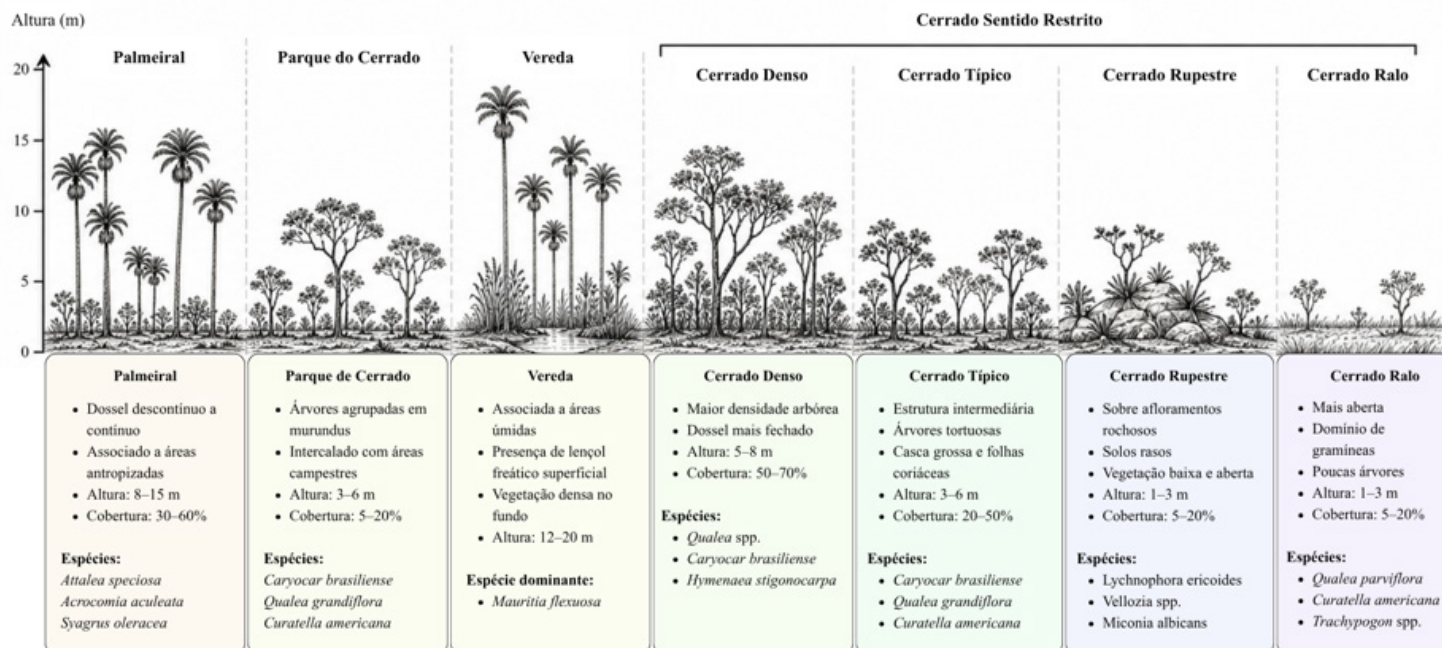
Cabe destacar que nem todas as tipologias savânicas descritas na literatura estão representadas no mapa, como veredas, cerrados rupestres e formações parque, o que se deve principalmente às limitações dos dados utilizados, cuja classificação nem sempre permite distinguir detalhadamente essas fisionomias. Dessa forma, a análise espacial concentra-se nas principais variações estruturais do Cerrado sentido restrito, sem abranger toda a complexidade fisionômica do bioma.

Além dos fatores edáficos, a variação estrutural observada entre as formações (Figura 2) também pode ser explicada pela atuação conjunta de fatores ambientais, como clima e características geográficas. Diferenças em altitude, temperatura e condições locais de relevo contribuem para a definição da densidade da vegetação, resultando em gradientes que vão desde formações mais densas até ambientes mais abertos (Mariano *et al.*, 2020). Essa interação entre variáveis ambientais reforça a complexidade ecológica do Cerrado, onde pequenas variações nas condições físicas podem gerar mudanças significativas na estrutura da vegetação.

A caracterização estrutural das formações savânicas, representada na ilustração (Figura 3), evidencia diferenças marcantes entre as fisionomias, especialmente no que se refere à densidade arbórea, altura da vegetação e cobertura do dossel. O Cerrado Denso apresenta maior continuidade do estrato arbóreo e maior cobertura de copa, enquanto o Cerrado Típico apresenta estrutura intermediária e o Cerrado Ralo caracteriza-se pela baixa densidade de árvores e maior predominância do estrato herbáceo (Pinheiro; Durigan, 2012; Santos *et al.*, 2015). Já o Cerrado Rupestre e as veredas apresentam adaptações específicas às condições ambientais locais, como solos rasos e presença de água, respectivamente, evidenciando a influência direta do ambiente na organização dessas formações.

Essas diferenças estruturais estão associadas a estratégias ecológicas distintas, refletindo adaptações das espécies às condições ambientais do Cerrado. Plantas típicas desse bioma apresentam características como casca espessa, sistemas radiculares profundos e variação fenotípica, que permitem a sobrevivência em ambientes com limitações hídricas e ocorrência de distúrbios, como o fogo (Simon; Pennington, 2012; Pedroso; Rocha-filho; Lomônaco, 2010). Essas adaptações contribuem para a resiliência das formações savânicas e explicam, em parte, a distribuição observada no mapa, onde diferentes fisionomias ocupam nichos ambientais específicos.

Figura 3. Representação esquemática das variações estruturais das formações savânicas do Cerrado, destacando diferenças na densidade, altura e organização da vegetação



Fonte: Elaborado pelos autores (2026) utilizando informações da literatura de Ribeiro e Walter (2021).

Dessa forma, a integração entre a análise espacial (Figura 2) e a representação estrutural (Figura 3) permite compreender que as formações savânicas do Cerrado maranhense não ocorrem de forma aleatória, mas sim organizadas em função de gradientes ambientais bem definidos. Esse padrão evidencia a importância dos fatores edáficos e climáticos na determinação da estrutura e da composição da vegetação, reforçando o caráter dinâmico e complexo desse ecossistema.

CONCLUSÕES

A análise das formações savânicas do Cerrado no Maranhão demonstrou que sua distribuição espacial está diretamente associada a fatores ambientais, especialmente às características edáficas e às condições climáticas. As variações estruturais observadas entre cerrado ralo, típico e denso refletem diferentes níveis de disponibilidade de recursos, evidenciando a organização da vegetação em resposta a gradientes ambientais. A integração entre a análise espacial e a representação esquemática permitiu compreender de forma mais clara as diferenças fisionômicas e as estratégias adaptativas das espécies. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão da dinâmica ecológica do Cerrado maranhense, destacando a importância dessas formações para a biodiversidade e para o planejamento de ações voltadas à sua conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIA, A. C.; LENZA, E.; MEWS, H. A.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; WINCK, N.; PESSOA, M. J. G. Savannas on two different substrates in Brazil have a similar species diversity, but distinct edaphic conditions and species composition. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, n. 1, p. 57-64, 2018.

GOMES, G. S.; SILVA, G. S.; CONCEIÇÃO, G. M. Leguminosae em área de cerrado no leste do Maranhão, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 1-10, 2019.
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2025b. **Malha Municipal**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 02 maio 2026.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **TerraBrasilis**: Bioma Cerrado - Vegetação. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 01 maio 2026.

MORENO, M. I. C.; SCHIAVINI, I.; HARIDASAN, M. Fatores edáficos influenciando na estrutura de fitofisionomias do Cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 25, p. 173-194, 2008.

PEDROSO, H. L.; ROCHA-FILHO, L. C. D.; LOMÔNACO, C. Variación fenotípica de plantas del Cerrado (Sabana brasileña) frente a la heterogeneidad ambiental. **Ecosistemas**, v. 19, n. 1, p. 29-32, 2010.

PINHEIRO, M. H. O. Formações savânicas mundiais: uma breve descrição fitogeográfica. **Brazilian Geographical Journal**, v. 1, n. 2, 2010.

PINHEIRO, E. D. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 181-193, 2012.

PEREIRA, P. R. M.; OLIVEIRA, M. M. N.; BOLFE, E. L.; MACARRINGUE, L. S. Comparação da classificação do uso e cobertura da terra em imagens Landsat-8 e Sentinel-2 no Cerrado Maranhense. **Geo UERJ**, n. 42, p. e66306-e66306, 2023.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Bioma Cerrado: Savanas**, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma_cerrado/vegetacao/savana. Acesso em: 02 maio 2026.

SANTOS, L. M.; LENZA, E.; SANTOS, J. O.; MARIMON, B. S.; EISENLOHR, P. V.; MARIMON JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R. Diversity, floristic composition, and structure of the woody vegetation of the Cerrado in the Cerrado–Amazon transition zone in Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 877-887, 2015.

SIMON, M. F.; PENNINGTON, T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 711-723, 2012.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. D. S.; CORREIA, J. R. **Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de cerrado na bacia hidrográfica do Rio Jardim**, DF. 2005.

SOARES, Z. T.; SILVA COSTA, A. P.; SOARES, E. F.; CAVALCANTI, V. F. S. Levantamento florístico e fitossociológico em área de cerrado no sudoeste do Maranhão. **Revista Cesumar – Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, Maringá, v. 15, n. 2, p. 331-346, 2010.

Históricos de manejo de pastagens e sua influência na fertilidade do solo e nos estoques de carbono em um ecótono Cerrado–Amazônia

Pasture management influences soil fertility and carbon stocks in a Cerrado–Amazon ecotone

VIEIRA, Izabela Rabelo da Silva ¹; SILVA FILHO, Florisval Protasio ²; MARTINS, Guilherme Medeiros ³; ALVES, Kira Figueiredo Loiola ⁴; DA SILVA, Alinne ⁵.

¹ UEMASUL, izabela.vieira@uemasul.edu.br; ² IFMA, florisval.filho@ifma.edu.br; ³ UEMASUL, guilherme.martins@uemasul.edu.br; ⁴ UEMASUL, kira.figueiredo@uemasul.edu.br; ⁵ UEMASUL, alinnesilva@uemasul.edu.br.

RESUMO

Os Latossolos tropicais apresentam baixa fertilidade natural e elevada acidez, sendo fortemente influenciados pelo uso da terra e manejo. Este estudo avaliou o efeito do histórico de uso sobre a fertilidade do solo e os estoques de carbono em um ecótono Cerrado–Amazônia, no oeste do Maranhão. Foram comparados três sistemas: floresta nativa, pastagem abandonada e pastagem extensiva, com amostragem em quatro camadas do solo (0–30 cm) e análise de atributos químicos e carbono orgânico. Os resultados mostraram que a floresta apresentou maior acidez e saturação por alumínio, enquanto as pastagens apresentaram maiores teores de bases trocáveis, associados ao manejo. A pastagem abandonada apresentou maiores estoques de carbono nas camadas superficiais. Conclui-se que o histórico de uso da terra influencia significativamente a fertilidade e a dinâmica do carbono no solo.

86

Palavras-chave: Latossolos; Carbono orgânico do solo; Histórico de uso da terra.

INTRODUÇÃO

Os solos tropicais são essenciais para a produção agrícola e a regulação dos ciclos biogeoquímicos em ambientes dinâmicos. Em regiões altamente intemperizadas, dominadas por Latossolos (Oxisols), suas propriedades químicas resultam de processos pedogenéticos de longa duração (Buol *et al.*, 2011; Schäfer *et al.*, 2025). Esses solos apresentam, em geral, alta acidez e baixa disponibilidade de nutrientes. Assim, sua fertilidade depende principalmente da ciclagem biológica e do manejo adotado.

Regiões ecotonais entre grandes biomas são estratégicas para estudar interações solo–paisagem por integrarem diferentes domínios ecológicos. A transição Cerrado–Amazônia no oeste do Maranhão destaca-se como uma fronteira agrícola dinâmica, com clima tropical sazonal, solos profundos e altamente intemperizados e forte expansão agropecuária baseada na agricultura familiar. Nesse contexto, as pastagens predominam como uso da terra, evidenciam a importância da pecuária e seus efeitos sobre a dinâmica de nutrientes e do carbono no solo (Haynes; Williams, 1993; Maia *et al.*, 2018).

A conversão do uso da terra, especialmente de floresta nativa para pastagens ou agricultura, altera significativamente as propriedades químicas do solo devido a

mudanças nos aportes de nutrientes, na vegetação e no manejo (Lima *et al.*, 2022). Em florestas naturais, a ciclagem de nutrientes ocorre via biomassa e decomposição da serapilheira, garantindo alta eficiência interna (Krishna; Mohan, 2017). Já em sistemas manejados, o uso de insumos como calcário e fertilizantes modifica a disponibilidade de nutrientes (Enesi *et al.*, 2023), enquanto o pastejo influencia a fertilidade por meio da dinâmica da biomassa e das raízes, afetem a CTC e a matéria orgânica do solo (Haynes; Williams, 1993; Fonseca *et al.*, 2023).

A dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e do carbono orgânico do solo (COS) é influenciada pelo tipo de vegetação e pelo uso da terra. Gramíneas tropicais C₄, comuns em pastagens, geram alta produção de biomassa e elevam os aportes de carbono ao solo, principalmente via serapilheira, turnover radicular e rizodeposição, favorecendo a formação de matéria orgânica (Kuzyakov; Domanski, 2000; Poirier *et al.*, 2018; Maia *et al.*, 2018). Contudo, ainda são escassas as evidências sobre os efeitos do manejo prolongado de pastagens nos estoques de carbono e na fertilidade do solo em comparação com florestas nativas, especialmente em ecótonos Cerrado–Amazônia.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar como o uso e manejo da terra influenciam a biogeoquímica do solo, a dinâmica do carbono e a ciclagem de nutrientes em Latossolos altamente intemperizados no oeste do Maranhão, comparando sistemas de floresta nativa e pastagens com diferentes históricos de manejo ao longo do perfil do solo.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em Porto Franco (MA), em área de transição entre Cerrado e Amazônia, sob clima tropical úmido com estações bem definidas. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho, profundo, altamente intemperizado e de textura argilosa. Foram avaliados três sistemas de uso da terra: floresta nativa (FL), pastagem abandonada (PA) e pastagem extensiva com histórico agrícola (PE), localizados em mesma posição na paisagem.

A amostragem foi realizada em maio, ao final do período chuvoso, em parcelas de aproximadamente 0,75 ha por sistema. Em cada área, foram definidos cinco pontos amostrais espaçados em 50 m. Amostras compostas foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–30 cm, além da coleta de amostras para determinação da densidade do solo, utilizada na estimativa dos estoques de carbono.

Foram avaliados atributos químicos do solo, incluindo pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺ e matéria orgânica do solo. A partir desses dados, foram calculados indicadores de fertilidade, como soma de bases, capacidade de troca catiônica (t e T), saturação por bases (V) e por alumínio (m), conforme Teixeira *et al.* (2017). Os estoques de carbono orgânico do solo foram estimados pelo método da massa de solo equivalente (Carvalho, 2009), calculados pela Equação 1.

$$SOC = \frac{C_s \cdot D_s \cdot e}{10} \text{ Eq. 1}$$

Em que: SOC = estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha⁻¹), C_s = teor de carbono orgânico total (g kg⁻¹), D_s = densidade do solo na camada amostrada (kg dm⁻³), D_{ref} = densidade do solo da área de referência (kg dm⁻³) e e = espessura da camada do solo (cm).

Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, com verificação de normalidade (Shapiro–Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Em seguida, aplicou-se análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Adicionalmente, utilizou-se análise de componentes principais (PCA) para avaliar a relação entre os atributos químicos do solo e os sistemas de uso da terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais (PCA) evidenciou clara separação entre a floresta nativa (FL) e os sistemas de pastagem (PA e PE) ao longo do perfil do solo, indicando forte influência do uso da terra sobre os atributos químicos. A floresta esteve associada a maiores valores de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável e saturação por alumínio, enquanto as pastagens se relacionaram a maiores valores de pH e cátions básicos. Esse padrão reflete a condição natural de Latossolos altamente intemperizados, caracterizados por elevada acidez e lixiviação de bases (Buol *et al.*, 2011; Schäfer *et al.*, 2025).

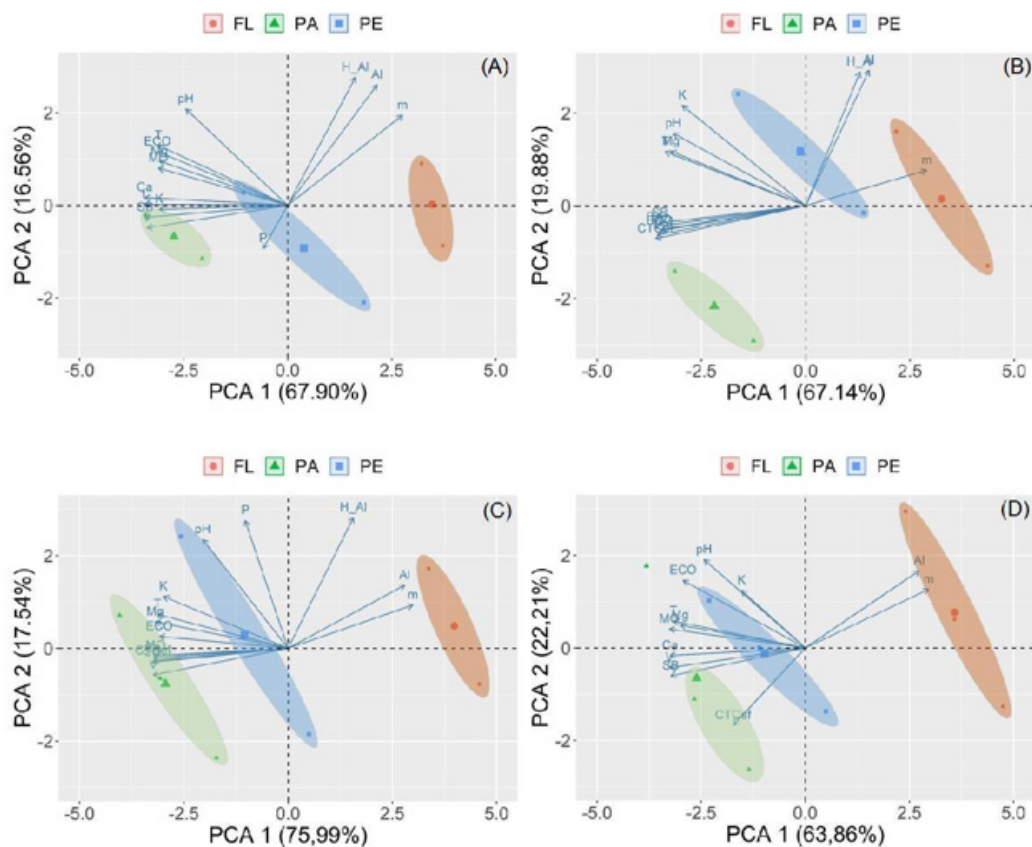
A menor acidez observada nas pastagens está associada ao histórico de manejo, especialmente à aplicação de corretivos, que promovem a neutralização de H^+ e a precipitação de Al^{3+} , reduzindo sua atividade no solo (Enesi *et al.*, 2023). Além disso, os maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nesses sistemas indicam efeito residual de práticas como fertilização e ciclagem de nutrientes via deposição de excretas e biomassa vegetal (Haynes; Williams, 1993; Fonseca *et al.*, 2023).

A pastagem abandonada apresentou os maiores valores de matéria orgânica do solo (MOS) e estoques de carbono orgânico (COS), principalmente nas camadas superficiais, sugerindo acúmulo de carbono associado à alta produção de biomassa de gramíneas C4. Esses resultados estão de acordo com estudos que destacam o papel de pastagens tropicais no aporte de carbono via resíduos vegetais, turnover radicular e rizodeposição (Kuzyakov; Domanski, 2000; Poirier *et al.*, 2018; Maia *et al.*, 2018). A redução dos estoques de carbono com a profundidade observada em todos os sistemas segue o padrão típico de solos tropicais (Conant *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2025).

Os maiores teores de fósforo na pastagem extensiva nas camadas superficiais refletem adubações recentes, com pouca mobilidade em profundidade devido à forte adsorção em óxidos de ferro e alumínio, característica comum de solos altamente intemperizados (Menezes-Blackburn *et al.*, 2016; Brenner *et al.*, 2019).

De forma geral, os resultados indicam que o histórico de manejo modula a fertilidade e os estoques de carbono no solo. No entanto, a ausência de replicação espacial caracteriza uma limitação experimental, devendo os resultados ser interpretados com cautela.

Figura 1. Análise de componentes principais dos atributos químicos do solo em diferentes usos da terra e profundidades



Fonte: Autores (2026).

CONCLUSÕES

A fertilidade química do solo e a dinâmica do carbono variam de forma consistente entre sistemas de pastagem com diferentes históricos de manejo na transição Cerrado–Amazônia. Enquanto a floresta nativa mantém a acidez característica de Latossolos altamente intemperizados, os sistemas de pastagem apresentam alterações químicas associadas ao uso do solo, como redução da acidez e aumento de cátions básicos. Destaca-se que a pastagem abandonada apresentou maior acúmulo de carbono nas camadas superficiais, sugerindo potencial de recuperação parcial da matéria orgânica do solo após a interrupção do manejo. Assim, o histórico de uso da terra exerce papel determinante na estruturação dos atributos do solo, com implicações diretas para a fertilidade e o armazenamento de carbono em ambientes tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRENNER, J., PORTER, W., PHILLIPS, J. R., CHILDS, J., YANG, X., MAYES, M. A. Phosphorus sorption on tropical soils with relevance to Earth system model needs. *Soil research*, v. 57 n.1, p. 17-27, 2019.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; McDANIEL, P. A. *Soils: an introduction to soils and plant growth*. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2011.

CARVALHO, J. L. N. **Método da massa de solo equivalente aplicado à estimativa de estoques de carbono.** 2009.

CONANT, R. T.; CERRI, C. E. P.; OSBORNE, B. B.; PAUSTIAN, K. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. **Ecological Applications**, v. 27, n. 2, p. 662–668, 2017.

ENESI, R. O., DYCK, M., CHANG, S., THILAKARATHNA, M. S., FAN, X., STRELKOV, S., & GORIM, L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. **Frontiers In Agronomy**, v. 5, p. 1194896. 2023.

FONSECA, F.; FIGUEIREDO, T.; NUNES, A.; et al. Impacts of extensive sheep grazing on soil physical and chemical quality in open mountain forests, NE Portugal. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 13, n. 1, 2023.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119–199, 1993.

KRISHNA, M. P.; MOHAN, M. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. **Energy, Ecology and Environment**, v. 2, n. 4, p. 236–249, 2017.

KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil: review of rhizodeposition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 163, n. 4, p. 421–431, 2000.

LIU, W. S., DUAN, H. X., CHE, Y. X., HE, C., CHEN, J. S., ZHAO, X., ... & ZHANG, H. L. Tracing Rhizodeposition Contributions to Soil Organic Carbon under Long-Term Tillage in a Wheat–Maize System Using Stable Isotope Labeling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 73 n. 44, p. 28177–28187, 2025.

LIMA, A. F. L., CAMPOS, M. C. C., MARTINS, T. S., SILVA, G. A., BRITO, W. B. M., DOS SANTOS, L. A. C., CUNHA, J. M. Soil chemical attributes in areas under conversion from forest to pasture in southern Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 22555. 2022.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in tropical and subtropical regions: a meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 258, p. 13–23, 2018.

MENEZES-BLACKBURN, D., ZHANG, H., STUTTER, M., GILES, C. D., DARCH, T., GEORGE, T. S., HAYGARTH, P. M. A holistic approach to understanding the desorption of phosphorus in soils. **Environmental Science & Technology**, v. 50 n. 7, p.3371–3381, 2016.

POIRIER, V.; ROUMET, C.; MUNSON, A. D. The root of the matter: linking root traits and soil organic matter stabilization processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 246–259, 2018.

SCHÄEFER, C. E. G. R., SIQUEIRA, R. G., PEREIRA, L. F., GOMES, L. C., ALMEIDA, P. H. A., FRANCELINO, M. R., FERNANDES-FILHO, E. I. Brazilian Latossolos (Ferralsols, Oxisols) from different biomes: a multiproxy study on the spatial variability of the most weathered tropical soils in South America. **Geoderma Regional**, v. 43, e01012, 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

O papel das terras quilombolas na conservação da biodiversidade no Maranhão

The Role of Quilombola Lands in Biodiversity Conservation in Maranhão

LIÁ, Filipe Silva¹; CARDOSO, Júlio César²; LIÁ, Sara de Lima Silva³; MACHADO, Sebastião Silva⁴; SANTOS, Wallysson Rocha⁵; VIANA, Jonathan dos Santos⁶; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁷; ANGELO, Dalton Henrique⁸

¹UEMASUL, felipe.lia@uemasul.edu.br; ²UEMASUL, julio.silveira@uemasul.edu.br; ³UEMASUL, sara.lia@uemasul.edu.br; ⁴UEMASUL, sebastiao.silva.machado@uemasul.edu.br; ⁵UEMASUL, wallysson.santos@uemasul.edu.br; ⁶UEMASUL, jonathan.viana@uemasul.edu.br; ⁷UEPA, chaiane.r.schneider@uepa.br; ⁸UEMASUL, dalton.angelo@uemasul.edu.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a importância das terras quilombolas no Maranhão, considerando o uso sustentável dos recursos naturais e os desafios associados à garantia desses territórios. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica e análise espacial, com integração de dados do INCRA, IBGE e MapBiomas no software QGIS, utilizando técnicas de sobreposição para avaliar a distribuição espacial e o uso e cobertura da terra. Os resultados indicam que, embora representem cerca de 0,6% da área estadual, os territórios quilombolas estão inseridos em regiões de elevada relevância ecológica, como a Baixada Maranhense as zonas de transição entre a Amazônia e o Cerrado. Observou-se maior presença de vegetação nativa nessas áreas, em contraste com o entorno dominado por atividades agropecuárias, evidenciando a contribuição das práticas tradicionais para a conservação ambiental. Contudo, desafios como fragmentação territorial, pressão antrópica e insegurança fundiária comprometem essa função. Conclui-se que as terras quilombolas são estratégicas para a conservação da biodiversidade, sendo sua efetividade dependente da garantia dos direitos territoriais e do fortalecimento de políticas públicas.

Palavras-chave: Análise Espacial; Cobertura Vegetal; Uso Sustentável.

INTRODUÇÃO

Os territórios quilombolas desempenham papel estratégico na conservação da natureza no Brasil, ao abrigarem práticas tradicionais de manejo que conciliam uso sustentável da terra e manutenção dos ecossistemas. Baseadas em conhecimentos transmitidos ao longo das gerações, essas práticas contribuem para a preservação da sociobiodiversidade, configurando essas comunidades como importantes agentes de conservação ambiental (CONAQ, 2025; Carmo *et al.*, 2024).

Essas comunidades utilizam os recursos naturais de forma integrada, por meio de atividades como agricultura tradicional e extrativismo. No entanto, enfrentam pressões relacionadas à expansão agropecuária, conflitos territoriais e insegurança fundiária, que comprometem tanto os ecossistemas quanto seus modos de vida (Da Silva; Souza, 2022; Oviedo; Lima; Sousa, 2024).

No Brasil, os direitos territoriais quilombolas são assegurados pela Constituição Federal de 1988 (art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias), regulamentados pelo Decreto nº 4.887/2003 e reforçados pela Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho e pela Lei nº 12.288/2010. Apesar desse arcabouço legal, a efetivação desses direitos ainda enfrenta entraves, refletidos na persistência de conflitos e na baixa titulação dos territórios.

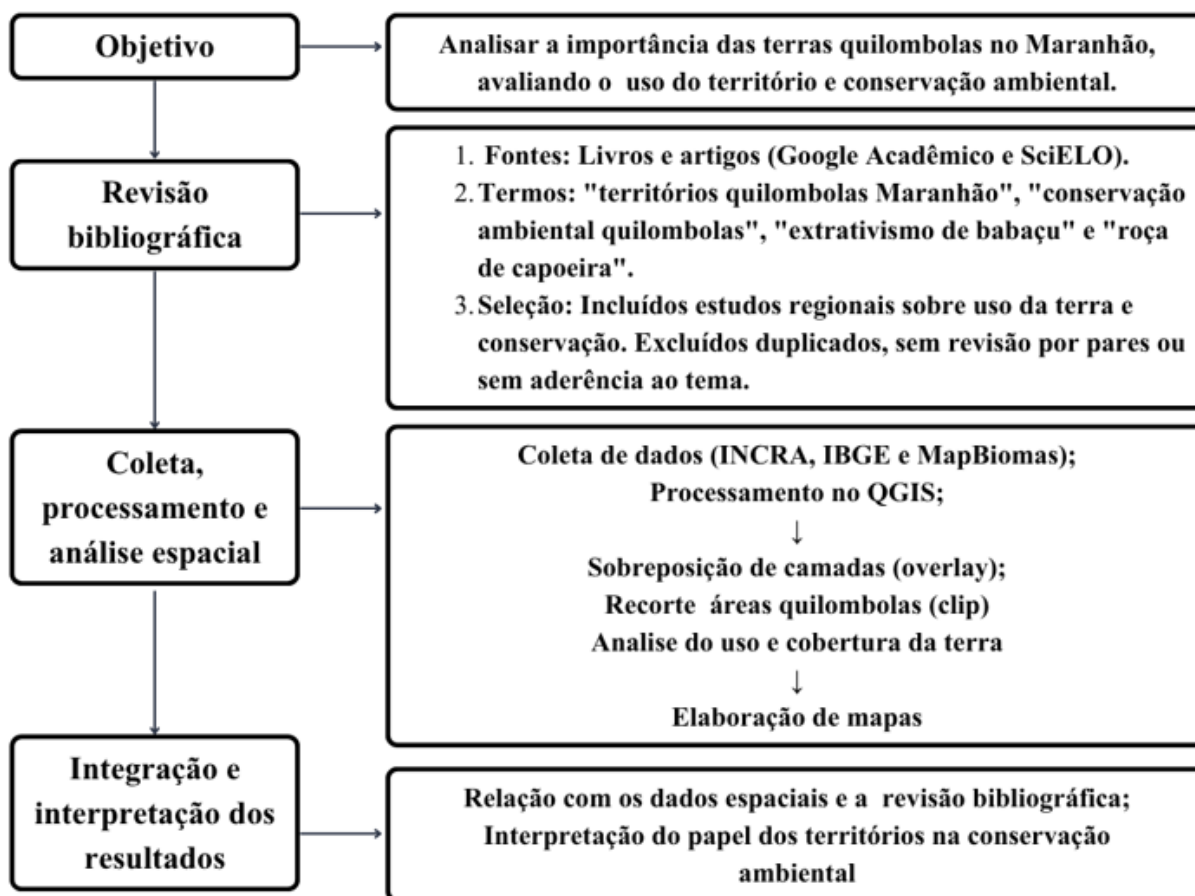
No Maranhão, onde há forte presença dessas comunidades, destacam-se práticas como o extrativismo do babaçu, que contribuem para a conservação da biodiversidade. Entretanto, a fragilidade na regularização fundiária e as pressões externas representam desafios à continuidade dessas práticas (Costa *et al.*, 2021; Porro *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a importância das terras quilombolas no Maranhão, considerando o uso sustentável dos recursos naturais e os desafios associados às políticas públicas.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi organizada em quatro etapas principais: definição do objetivo, revisão bibliográfica, coleta, processamento e análise espacial dos dados, e integração e interpretação dos resultados (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da metodologia utilizada no estudo

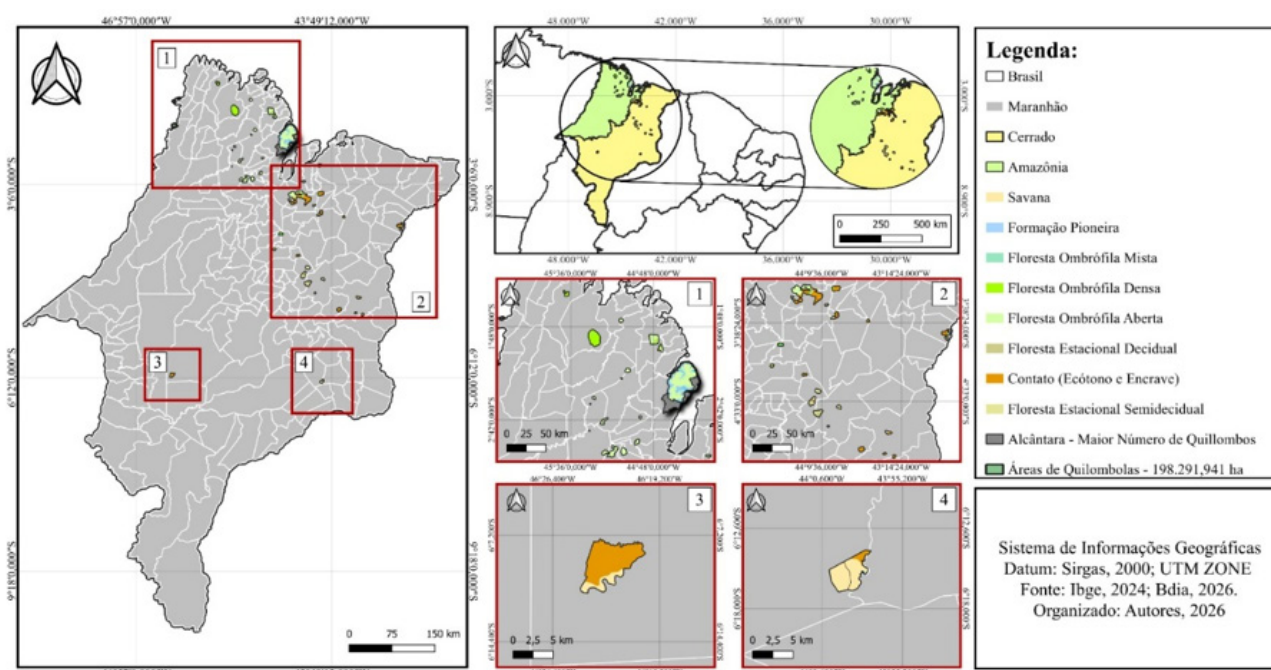


Fonte: Autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise integrada dos territórios quilombolas no Maranhão, associada à interpretação do mapa (Figura 2), demonstra que sua distribuição espacial não é aleatória, mas resulta da articulação entre processos históricos de ocupação e a presença de ambientes naturais favoráveis à subsistência. Esses territórios totalizam aproximadamente 198.291,941 hectares, correspondendo a cerca de 0,6% da área estadual.

Figura 2. Distribuição espacial das terras quilombolas no estado do Maranhão, com destaque para os biomas e fitofisionomias



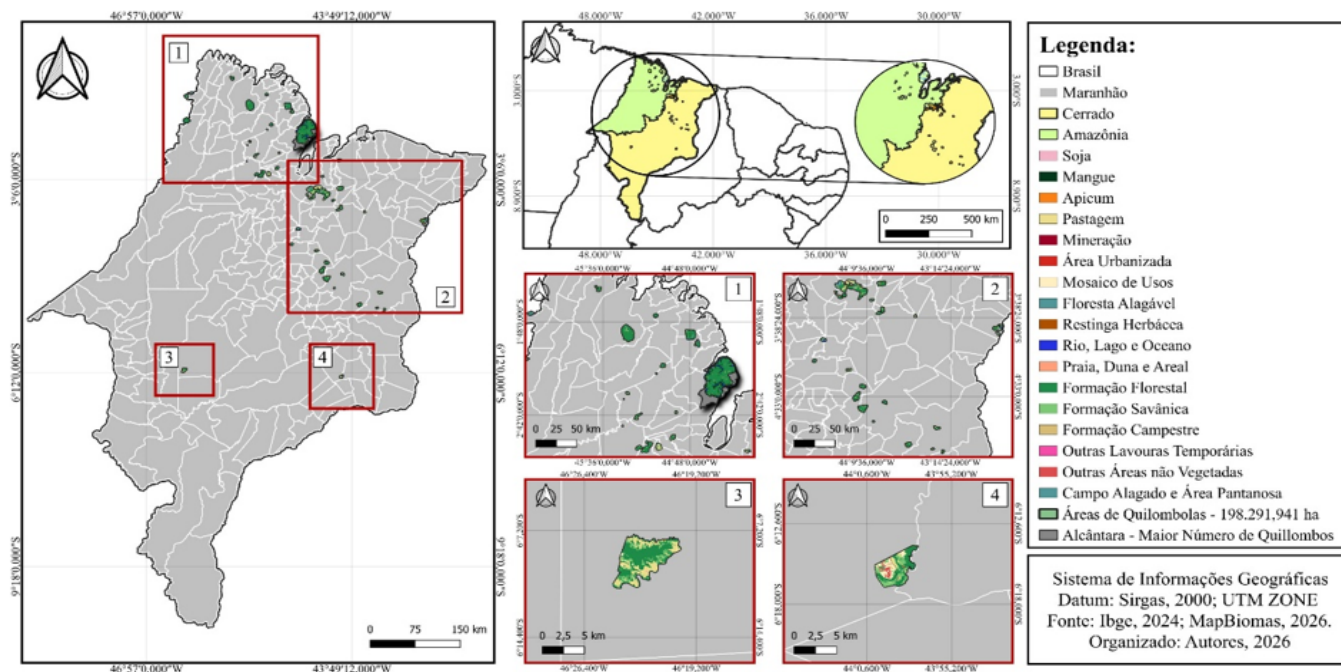
Fonte: Adaptado do INCRA, IBGE e MapBiomias (2026).

A distribuição espacial dos territórios quilombolas (Figura 2) e do uso e cobertura da terra (Figura 3) evidencia que esses espaços configuram unidades socioecológicas estratégicas para a conservação no Maranhão. Sua localização concentra-se em áreas de elevada relevância ecológica, como a Baixada Maranhense e o litoral norte, refletindo uma ocupação historicamente associada à disponibilidade de recursos naturais (Oviedo; Doblas, 2022; Miller *et al.*, 2021). Essa relevância é sustentada por dados quantitativos: do total de aproximadamente 198.291,941 hectares que compõem esses territórios, a cobertura vegetal nativa e os corpos d'água somam 179.963,62 ha (cerca de 1.799,64 km²), o que representa a predominância de áreas preservadas.

Essa análise espacial do uso e cobertura do solo **evidenciou** um contraste substancial entre os territórios em questão e suas áreas adjacentes. Enquanto o entorno **demonstra** processos intensivos de conversão para atividades agropastoris, os territórios quilombolas **mantêm** uma predominância significativa de cobertura vegetal nativa. Tal padrão **sugere** que a conservação ambiental observada não se atribui exclusivamente à localização geográfica, mas sim à eficácia das práticas

tradicionais de manejo, as quais **se fundamentam** em princípios de uso sustentável dos recursos naturais (Porro *et al.*, 2023; Figueiredo; Lira; Barroso, 2023).

Figura 3. Mapa de uso e cobertura do solo nos territórios quilombolas do Estado do Maranhão



Fonte: Adaptado do INCRA, IBGE e MapBiomias (2026).

94

Inseridos em zona de transição entre Amazônia e Cerrado, esses territórios apresentam alta heterogeneidade ambiental, favorecendo a biodiversidade e ampliando sua relevância ecológica (Nascimento, 2020; Silva; Souza, 2022). Assim, embora ocupem cerca de 0,6% da área estadual, contribuem de forma desproporcional para a manutenção de serviços ecossistêmicos.

Por outro lado, a fragmentação espacial e as pressões externas, como a expansão agropecuária e projetos de infraestrutura, aumentam a vulnerabilidade desses territórios, agravada por conflitos fundiários e pela limitada efetivação de instrumentos legais, como a Convenção nº 169 da OIT (Costa, 2025; Oviedo; Lima; Sousa, 2024). Práticas como cercamento e desmatamento comprometem os babaçuais e os modos de vida locais (Novaes; Araújo, 2016).

A análise cartográfica **corrobor**a que os territórios quilombolas **funcionam como unidades de conservação ativa**. A **sustentabilidade** e a **integridade ecológica** desses espaços **estão intrinsecamente condicionadas** à garantia dos direitos territoriais das comunidades. **Observa-se, portanto, que a efetividade da conservação nesses ambientes é indissociável da permanência das comunidades e da aplicação de seus saberes tradicionais** (CONAQ, 2025; Carmo *et al.*, 2024).

CONCLUSÕES

O estudo **indicou** que as terras quilombolas maranhenses desempenham um papel relevante para a conservação ambiental, protegendo vegetação nativa e biodiversidade via práticas tradicionais e sustentáveis. Contudo, desafios

como fragmentação territorial ou espacial, pressão agropecuária e insegurança fundiária **ameaçam** essa função. A conservação **depende**, portanto, da garantia de direitos territoriais e do fortalecimento de políticas públicas para a autonomia e permanência dessas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYRES, G. M. Quilombos e direitos constitucionais: a experiência da Mesa Quilombola no Maranhão. **Guarimã: Revista de Antropologia Política**, v. 3, n. 2, p. 34-52, jul./dez. 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidente da República, [2016]. Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, art. 68. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 25 abr. 2026.

BRASIL. **Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003**. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. Brasília, DF: Presidência da República, [2003]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4887.htm. Acesso em: 25 abr. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.288, de 20 de julho de 2010**. Institui o Estatuto da Igualdade Racial; altera as Leis nos 7.716, de 5 de janeiro de 1989, 9.029, de 13 de abril de 1995, 7.347, de 24 de julho de 1985, e 10.778, de 24 de novembro de 2003. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12288.htm. Acesso em: 25 abr. 2026.

CARMO, E. A.; FERREIRA, G. S.; RODRIGUES, A. R.; OLIVEIRA, J. S. Terra de quilombo: proteção ambiental e preservação dos saberes tradicionais dos povos ribeirinhos de Abaetetuba (Pará). **Revista Regeo**, São José dos Pinhais, v. 16, n. 4, edição especial, p. 1–15, 2024. DOI: 10.56238/revgeov16n4-079.

COORDENAÇÃO NACIONAL DE ARTICULAÇÃO DAS COMUNIDADES NEGRAS RURAIS QUILOMBOLAS (CONAQ). **Fortalecendo a gestão territorial e ambiental quilombola no Cerrado e na Mata Atlântica**: sistematização dos territórios, ações e resultados. Organização: Kátia Penha et al. Brasília, DF: Copy Center, 2025. 86 p.

COSTA, A. S. V. et al. Survey of the living conditions and health status of older persons living in Quilombola communities in Bequimão, Brazil: the IQUIBEQ Project. **Journal of Public Health: From Theory to Practice**, [s. l.], v. 29, p. 1061-1069, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10389-020-01198-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10389-020-01198-y>. Acesso em: 25 abr. 2026.

COSTA, Y. Quilombos e proteção jurídica do território: violações ao direito a consulta prévia na duplicação da BR-135 (Maranhão). **Revista Outros Tempos: Pesquisa em Foco - História**, v. 22, n. 40, p. 395-422, 2025.

DA SILVA, G. M.; SOUZA, B. O. Quilombos in Brazil and the Americas: Black resistance in historical perspective. **Agrarian South: Journal of Political Economy**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 112–133, 2022.

FIGUEIREDO, L. R.; LIRA, M. M.; BARROSO, B. O. Mulheres quebradeiras de babaçu: um processo de construção acerca do termo comunidades tradicionais, identidades coletivas e saberes. **Revista Cadernos de Campo**, Araraquara, v. 23, n. esp. 2, e023017, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal digital do Maranhão**: divisão político-administrativa. Dados geoespaciais vetoriais (formato shapefile). Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 25 abr. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Quilombos (INCRA)**: base cartográfica de territórios quilombolas. Dados geoespaciais vetoriais (formato shapefile). Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-shapefile/quilombos-incra.zip/view>. Acesso em: 25 abr. 2026.

NOVAES, J. S. de; ARAUJO, H. F. A. **Cartografia social na região ecológica do babaçu**: estratégias de quebradeiras de coco e processos sociais atinentes aos babaçuais. [S. l.: s. n., s. d.]. ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Convenção nº 169 da OIT sobre Povos Indígenas e Tribais**. Genebra: OIT, 1989. (Ratificada pelo Brasil pelo Decreto nº 5.051, de 19 de abril de 2004, e mantida pelo Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d10088.htm. Acesso em: 25 abr. 2026.

OVIEDO, A. F. P.; DOBLAS, J. **As florestas precisam das pessoas**: nota técnica. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2022.

OVIEDO, A.; LIMA, W. P.; SOUSA, F. das C. **Pressões ambientais nos territórios quilombolas no Brasil**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2024.

PORRO, N. S. M. et al. A “mãe palmeira” ante a privatização de terras sob uso comum: desafios para a conservação do babaçu por quilombolas no vale do Mearim, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Humanas**, [s. l.], v. 18, n. 2, e20220047, 2023. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1154760>. Acesso em: 19 abr. 2026.

SANTOS, N. C. O; BARBOSA, V. O. Territorialidade e etnicidade em Camaputua: resistências de um quilombo no Maranhão profundo. **Kwanissa: Revista de Estudos Africanos e Afro-Brasileiros**, v. 8, n. 11, p. 116-129, 2025.

Potencial da Silvicultura de Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A.Juss.) Müll.Arg.) no Maranhão

Potential of Rubber Tree (Hevea brasiliensis (Willd. Ex A.Juss.) Müll.Arg.) Silviculture in Maranhão

SILVA, Camylle Vieira da¹; ARAÚJO, Daniel Brito²; SANTOS, Rafael Silva dos³, SILVA, Luiz Felipe Cristiano⁴; ANGELO, Dalton Henrique⁵, SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁶. RAABE, Joabel⁷.

¹ UEMASUL, camylle.silva@uemasul.edu.br; ² UEMASUL, daniel.araujo@uemasul.edu.br; ³ UEMASUL, rafael.s.santos@uemasul.edu.br; ⁴ UEMASUL, luiz.cristiano@uemasul.edu.br ⁵UEMASUL, e-mail: dalton.angelo@uemasul.edu.br; ⁶ UEPA, e-mail: chaiane.r.schneider@uepa.br. ⁷UEMASUL, joabel.raabe@uemasul.edu.br

RESUMO

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) apresenta elevado potencial para a silvicultura no Maranhão, devido às condições edafoclimáticas favoráveis, especialmente em áreas de transição Cerrado–Amazônia. Embora possua ciclo produtivo mais longo que o eucalipto, destaca-se pela produção contínua de látex e pelo aproveitamento da madeira ao final do ciclo. O sucesso do cultivo depende da qualidade das mudas, do manejo adequado do solo, da nutrição equilibrada e da definição de espaçamentos compatíveis com as condições locais. Sistemas agroflorestais e arranjos consorciados ampliam a sustentabilidade e a diversificação de renda. Entretanto, fatores como suscetibilidade a doenças, exigência por solos bem drenados e necessidade de manejo técnico especializado indicam a importância de ajustes regionais e de maior aprofundamento em estudos sobre clones, irrigação e nutrição. Assim, a espécie configura-se como alternativa viável e estratégica para o desenvolvimento florestal sustentável no estado.

Palavras-chave: Heveicultura; Produção de látex; Produtos não madeireiros.

INTRODUÇÃO

A silvicultura contemporânea é fundamental para a conciliação entre produção de biomassa, conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico, sendo reconhecida como estratégia para a sustentabilidade (Valadares, 2020; IBÁ, 2025). No Brasil, apesar da relevância do setor florestal, a base produtiva permanece concentrada em poucas espécies exóticas, o que reforça a necessidade de diversificação com espécies nativas, como a seringueira (*Hevea brasiliensis*).

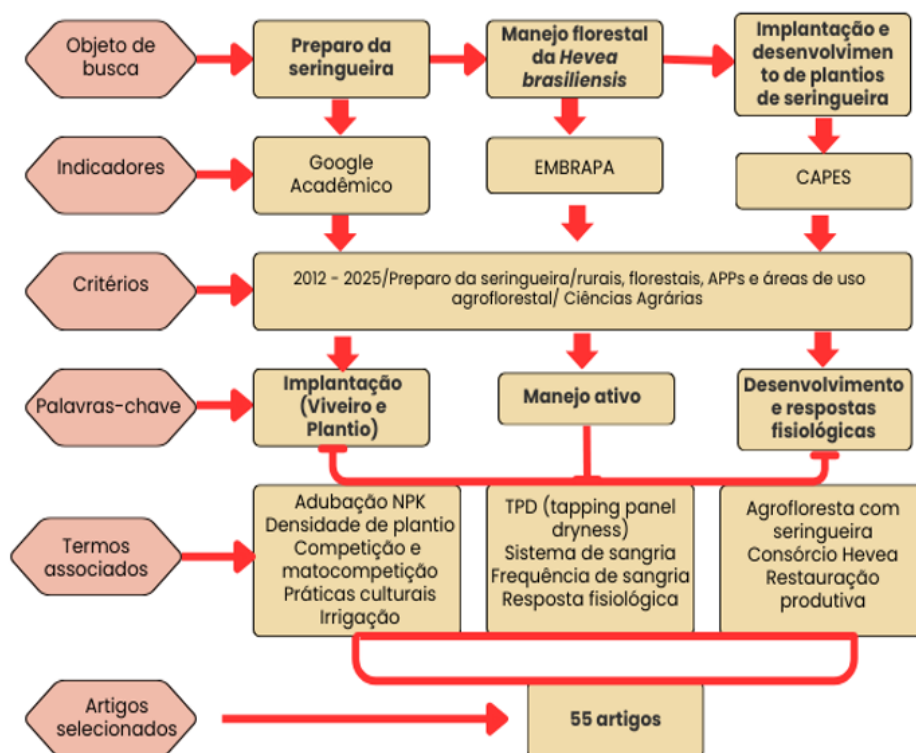
Embora nativa da Amazônia é detentora de elevado potencial produtivo, seu aproveitamento ainda é limitado por lacunas técnicas e científicas, especialmente quando comparado aos sistemas silviculturais consolidados do Sudeste Asiático (Brahma et al., 2017; CNA, 2024). A recente valorização da borracha natural e a retomada gradual dos plantios no Brasil evidenciam a importância estratégica da espécie (Hora Júnior, 2014; Guyot, 2018; IBÁ, 2025) devido a problemas recentes em plantios asiáticos. É essencial ampliar estudos que integrem práticas de manejo silvicultural e conservação do solo e da vegetação, especialmente em regiões

ainda pouco exploradas, (Luiz, 2022; Rahman, 2013; Lau, 2016), como o estado do Maranhão, portanto, o objetivo deste trabalho é levantamento de informações por meio de revisão bibliográfica para analisar potencial da referida espécie e subsidiar informações para um trabalho completo.

METODOLOGIA

A metodologia baseou-se em uma revisão bibliográfica sistemática, estruturada em etapas para garantir rigor e coerência com o tema da silvicultura da seringueira no Maranhão (Figura 1). A pesquisa foi orientada por eixos temáticos relacionados à silvicultura, manejo da *Hevea brasiliensis* e implantação de plantios, utilizando bases acadêmicas reconhecidas. Foram selecionadas publicações entre 2012 e 2025 na área das Ciências Agrárias, permitindo identificar avanços, limitações e potencialidades do cultivo da seringueira no estado.

Figura 1. Esquema metodológico utilizado



Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Hevea brasiliensis* apresenta elevado potencial socioeconômico para sistemas tropicais, devido à produção de látex, uso multiproduto da madeira e benefícios ambientais (Alvarenga, 2023; Pereira et al., 2021). No Maranhão, as condições edafoclimáticas são favoráveis, com solos profundos e bem drenados em áreas de transição Cerrado–Amazônia (Gonçalves, 2019). Apesar do ciclo produtivo mais longo em relação ao eucalipto, a espécie proporciona retorno contínuo por até 30

anos, com produtividade de látex superior a 2.500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em sistemas clonais (Pereira *et al.*, 2021).

O desempenho da cultura está diretamente associado às condições climáticas e do solo, exigindo temperaturas superiores a 24 °C, boa disponibilidade hídrica e solos bem drenados (Pereira *et al.*, 2021). Latossolos e Argissolos predominantes no Maranhão são adequados, desde que manejados corretamente (Santos *et al.*, 2020). Em comparação ao eucalipto, a seringueira apresenta menor plasticidade ecológica, porém pode ser mais resiliente sob manejo conservacionista (Ibá, 2025).

A produção de mudas é uma etapa crítica (Quadro 1), devido à sensibilidade inicial da espécie e à baixa viabilidade das sementes, que exigem semeadura imediata (Gonçalves, 2019). A enxertia é amplamente utilizada para garantir uniformidade produtiva, sendo a técnica de borbulhia a mais comum (Souza *et al.*, 2020). O uso de recipientes maiores e substratos adequados favorece o desenvolvimento radicular (Alvarenga, 2023).

Quadro 1. Síntese de vantagens e limitações de métodos propagativos de *H. brasiliensis*

Método de produção	Vantagens	Limitações	Comparação com <i>Eucalyptus spp.</i>
Semente (porta-enxerto)	Simplicidade; baixo custo	Variabilidade genética alta	No geral, mais duráveis e uniformes
Enxertia (borbulhia)	Uniformidade fisiológica e produtiva	Requer mão de obra especializada	Eucalipto raramente usa enxertia
Estaquia de clones elite	Manutenção da superioridade genética	Sensibilidade ao manejo hídrico; maior custo	Idêntico ao eucalipto, que domina esta técnica
Mini estacas	Alta taxa de enraizamento; grande escala	Necessita irrigação e nutrição controladas	Tecnologia amplamente consolidada no eucalipto

Fonte: Adaptado de Alvarenga, 2023, Gonçalves, 2019 e Souza *et al.*, 2020.

O espaçamento influencia diretamente o crescimento e a produtividade (Quadro 2). Arranjos mais amplos aumentam o crescimento individual, enquanto espaçamentos adensados favorecem maior produção inicial por área (Delarmelina *et al.*, 2023). No Maranhão, espaçamentos médios a amplos são mais indicados, especialmente em áreas com restrição hídrica (Santos, 2022). Em regiões mais úmidas, arranjos de 7 × 3 m equilibram produtividade e estabilidade do dossel (Pereira, 2003). A adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) tem se mostrado promissora, permitindo diversificação produtiva e geração de renda na fase inicial da cultura (Alvarenga, 2023; Frazão *et al.*, 2003). Esses sistemas, quando bem manejados, não comprometem o crescimento da seringueira (Embrapa Cacaís, 2021).

Espaçamentos mais amplos também contribuem para redução de doenças fúngicas, devido à melhor circulação de ar. Entretanto, há um *trade-off* entre produção individual e produtividade por hectare, exigindo equilíbrio no planejamento (Tan, 2019; Souza e Morais, 2020).

Com base na literatura, recomenda-se para o Maranhão espaçamentos entre 8 × 3 m e 9 × 3 m, que proporcionam melhor eficiência produtiva e operacional (Embrapa, 2020; CONAB, 2024).

Quadro 2. Síntese de recomendações práticas regionais de espaçamento para cultivo de *H. brasiliensis*

Ambiente	Condição Edafoclimática	Clones Indicados	Espaçamentos Recomendados
Transição Amazônia-MA	Alta umidade, solos profundos	RRIM 600, PB 235, GT1	7 × 3 m; 7 × 3,5 m
Cerrado Maranhense	Estação seca marcante; solos de textura média	RRIM 600, IAC 301, PB 260	8 × 3 m; 9 × 3 m
Sistemas SAF	Diversificação produtiva	GT1, IAC 300, clones mais vigorosos	(2 × 3) × 12 m; 8 × 4 m
Renques / alley cropping	Pecuária integrada	Clones vigorosos	12–14 m entre renques

Fonte: Elaborado por autores, 2025.

Os solos ideais são profundos, bem drenados e com boa porosidade, garantindo desenvolvimento radicular e produtividade ao longo do ciclo (Ribon *et al.*, 2003; Viegas *et al.*, 1992). O preparo do solo deve priorizar a conservação da estrutura, com subsolagem em áreas compactadas (Da Silva *et al.*, 2013). O plantio deve ocorrer no início da estação chuvosa, com manejo adequado das mudas e adubação inicial, visando melhor estabelecimento (Frazão *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2003). A nutrição equilibrada, especialmente com fósforo e potássio, é essencial para a produtividade (Viegas *et al.*, 1992; Santos *et al.*, 2019).

A irrigação é mais crítica na fase inicial, sendo recomendada em áreas com déficit hídrico, preferencialmente por sistemas localizados (Silva *et al.*, 2013). O controle de plantas daninhas nos primeiros meses é indispensável para evitar competição. O manejo fitossanitário envolve controle de doenças foliares e de caule, com destaque para estratégias biológicas e uso de materiais resistentes (Lopes *et al.*, 2022; Arizmendi *et al.*, 2025). A poda contribui para formação do tronco e sanidade, enquanto o desbaste melhora o crescimento diamétrico e a uniformidade do povoamento.

O látex é o principal produto da cultura, com produtividade entre 1.000 e 2.500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Gonçalves *et al.*, 2019). Ao final do ciclo, a madeira apresenta valor econômico significativo, podendo atingir até 250 m³ ha⁻¹ (Lima *et al.*, 2020; Rosa *et al.*, 2022).

O ciclo produtivo varia entre 25 e 35 anos, podendo chegar a 40 anos em condições favoráveis, sendo a renovação recomendada após a queda na produtividade de látex (Gonçalves *et al.*, 2019; Rodrigo *et al.*, 2020).

CONCLUSÕES

A revisão demonstrou que a silvicultura da *H. brasiliensis* no Maranhão possui fundamentos consolidados para produção de mudas, implantação e manejo inicial, mas ainda carece de estudos aprofundados sobre nutrição, irrigação e desempenho clonal em condições locais. Esses resultados ampliam a base de conhecimento aplicada à heveicultura maranhense e contribuem para aprimorar práticas de manejo, orientar novos experimentos e apoiar a expansão sustentável da cultura no estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A. P. O grande potencial de uma seringueira. **Boletim Técnico SIF**, v. 3, n. 9, p. 1–6, 2023.

CONAB — COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Nota Técnica: **Estimativas de safra de borracha natural 2022/2023**. Brasília: Câmara Setorial da Borracha Natural, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/borracha-natural/2024/58a-ro/nota_tecnica_gt_conab-1.pdf. Acesso em: 22 nov. 2025.

SILVA, K. R. da et al. Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 01-12, 2013.

FRAZÃO, D. A. C. et al. Seringueira na Amazônia: situação atual e perspectivas I Emmanuel de Souza Cruz, Ismael de Jesus Matos Viégas. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2003.

GONÇALVES, R. C. Guia para o cultivo da seringueira no Acre. Rio Branco, AC: **Embrapa Acre**, 2019. IBÁ. **Relatório Anual 2025**. Brasília, DF: Indústria Brasileira de Árvores, 2025.

LIMA, I. L. et al. Caracterização das propriedades mecânicas da madeira de clones de *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex Aдр.). **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-12, 2020.

LIMA, R. T.; CORRÊA, R. X. Variabilidade genética e resistência ao mal-das-folhas em clones amazônicos de seringueira. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 4, p. 322–332, 2020.

LOPES, M. P. B. et al. Initial Studies of the Response of Rubber Tree Seedlings Treated with Saprobic Fungi from the Semiarid Region of Northeast Brazil to Anthracnose. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2477, 2022.

PEREIRA, A. V. et al. Cultura da seringueira no Cerrado. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003. 59 p.

PEREIRA, A. V. et al. Desempenho de clones de seringueira na região Centro-Oeste do Brasil. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2021.

RIBON, A. A. et al. Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, v. 38, p. 1065-1071, 2014.

RODRIGO, V. H. L.; COSTA, W. A. J. M. de; NUGAWELA, A. Strategies for improving yield and economic efficiency of rubber plantations. **Agricultural Systems**, v. 182, p. 102–118, 2020.

ROSA, M. G.; SANTOS, L. C.; MENDONÇA, A. R. Caracterização volumétrica e qualidade da madeira de seringueira ao final do ciclo de sangria. **Floresta e Ambiente**, v. 29, n. 3, e20220011, 2022.

SANTOS, Y. L. A. dos et al. Atributos físicos e químicos de solo em cultivos de seringueira sob diferentes manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, 2019.

SEGUNDO-ARIZMENDI, N. et al. Bacteriophages: a challenge for antimicrobial therapy. **Microorganisms**, v. 13, n. 1, p. 100, 2025.

SOUZA, A. P.; MORAIS, P. H. Crescimento e produção de látex em clones de seringueira no Centro-Oeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1–12, 2020.

TAN, K. K. Rubber plantation management in Southeast Asia. **Malaysian Rubber Board Technical Bulletin**, v. 13, p. 1–57, 2019.

VALADARES, G. M.; LANDAU, E. C.; MAIA, N. L. M. Evolução da produção de borracha (*Hevea brasiliensis*, Euphorbiaceae). In: LANDAU, E. C. et al. (org.). **Dinâmica da produção agropecuária**

e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 4. p. 1405–1430. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122710/1/Cap43-EvolucaoProducaoBorracha.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2025.

VIEGAS, I. de J. M. et al. Resposta da seringueira à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio em Latossolo. Belém: **Embrapa-CPATU**, 1992.

Principais formações florestais Amazônicas Maranhenses

Main Amazonian Forest Formations in Maranhão

SOUSA, Aroldo Francisco Miranda de¹; MIRANDA, Francielson Sousa²; SEVERO, Felipe Dias³; SILVA, Arthur Nascimento⁴; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁵; ANGELO, Dalton Henrique⁶

¹Uemasul, aroldo.sousa@uemasul.edu.br; francielson.miranda@uemasul.edu.br; felipe.severo@uemasul.edu.br; arthur.silva@uemasul.edu.br; dalton.angelo@uemasul.edu.br

²UEPA, chaiane.r.schneider@uepa.br

RESUMO

O estudo teve como objetivo caracterizar as formações florestais amazônicas do Maranhão por meio de levantamento bibliográfico sobre fitofisionomias, fatores abióticos, área basal, diversidade e espécies indicadoras. A pesquisa, de caráter exploratório-descritivo, utilizou bases científicas e documentos oficiais para reunir informações sobre precipitação anual, solos e estrutura das florestas. Os resultados evidenciaram distinções entre as fitofisionomias ombrófilas aberta e densa, especialmente quanto à precipitação, composição florística e área basal, revelando padrões ecológicos próprios. Conclui-se que o levantamento sistematiza conhecimentos essenciais sobre a organização e variabilidade das formações florestais amazônicas maranhenses, contribuindo para estudos ambientais e para a compreensão de sua dinâmica ecológica.

Palavras-chaves: Fitofisionomias, Floresta Ombrófila, Maranhão.

103

INTRODUÇÃO

A região da Amazônia brasileira compreende nove estados: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Esses estados estão inclusos na área de Amazônia legal, uma delimitação política-administrativa estratégica para gerir áreas Amazônicas e de outros biomas que o margeiam em zonas de transição. Araújo et al. (2019) afirmam que juntos esses territórios somam uma área de 5.088.668,43 km², representando 59,76% da extensão territorial brasileira. Já no Maranhão, o bioma ocupa cerca de 34,78 % do estado, representando uma área de aproximadamente 81.208,40 km² (IBGE, 2011).

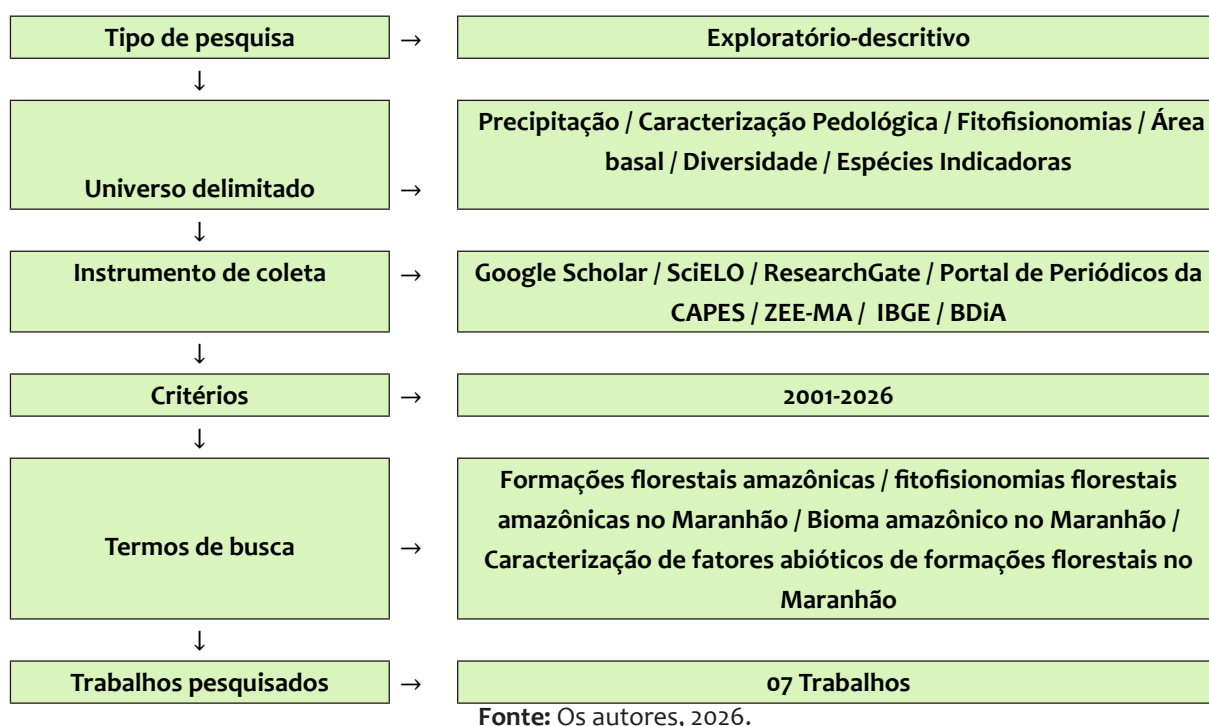
O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento bibliográfico das principais formações florestais amazônicas no Maranhão, caracterizando seus aspectos fitofisionômicos. O estudo baseia-se na relação entre os fatores abióticos e bióticos de precipitação, caracterização pedológica, fitofisionomias florestais, área basal, diversidade, espécies indicadoras encontradas na fração Amazônica no estado do Maranhão.

METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica, onde apresenta caráter exploratório-descritivo, fornecendo procedimentos metodológicos específicos.

Pois se trata de um levantamento bibliográfico das principais formações florestais amazônicas no Maranhão, para tal busca foi-se utilizado ferramentas de busca acadêmica *online* para a elaboração deste trabalho (Lima; Miotto, 2007), como o Google Scholar, SciELO, ResearchGate e Portal de Periódicos da CAPES, além disso utilizou-se sites oficiais do Governo do Brasil para a busca de informações precisas sobre delimitações geográficas e ambientais, como ZEE-MA (Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o BDIA (Banco de Dados e Informações Ambientais) fornecendo de fontes confiáveis os dados essenciais necessários para a elaboração deste trabalho (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma dos processos realizados para elaboração da pesquisa bibliográfica



RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Fitofisionomias Florestais Amazônicas no Maranhão

O estado do Maranhão possui duas principais fitofisionomias florestais no bioma amazônico e apresenta uma extensão de 66.698,42 km² para Floresta Ombrófila Densa e uma extensão de 33.567,52 km² para Floresta Ombrófila Aberta (Tabela 1) (IBGE, 2026).

A definição da Floresta Ombrófila Densa (Figura 2) apresenta caráter ombrotérmico associado a condições típicas de clima tropical, com temperaturas elevadas (médias em torno de 25 °C) e elevados índices de precipitação ao longo do ano e bem distribuído, havendo de 0 a 60 dias secos ou quase ausência de períodos biologicamente secos. Esse regime climático resulta em um ambiente praticamente desprovido de estação seca do ponto de vista biológico. Do ponto de vista estrutural, a vegetação é composta predominantemente por espécies fanerófitos lenhosos

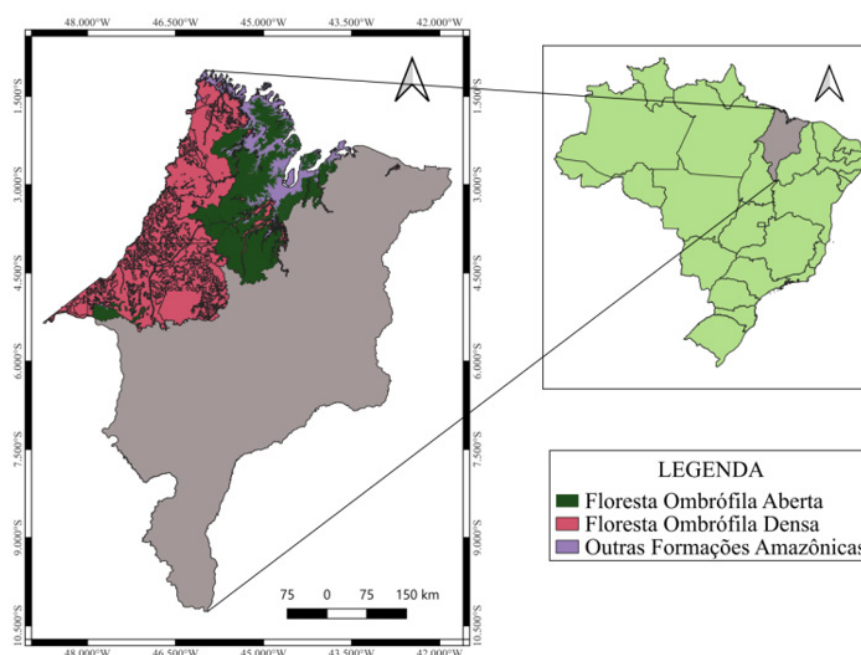
de médio e grande porte, além da presença expressiva de lianas lenhosas e epífitas (Rocha *et al.*, 2020) (IBGE, 2012).

Tabela 1 -Dados sobre a caracterização e diferenciação de caracteres abióticos e bióticos das fitofisionominas florestais amazônicas no Maranhão

Fatores	Floresta Ombrófila Aberta	Floresta Ombrófila Densa
Área	33.567,52 km ²	66.698,42 km ²
Precipitação Anual	1.600–2.200 mm	2.200–3.000 mm
Sazonalidade	Alta	Baixa ou praticamente nula
Solo	Argissolos V–A, Plintossolos (Háplicos e Argilúvicos), Latossolos em transição	Latossolos Amarelos, Argissolos úmidos, Gleissolos Tiomórficos
Área Basal	19,327 m ² ha ⁻¹	32,76 m ² ha ⁻¹
Riqueza de Espécies	Fabaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Lauraceae e Annonaceae <i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng	Fabaceae, Lecythidaceae, Malvaceae e Sapotaceae <i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.
Dominância Relativa	<i>Platymiscium</i> sp. Vogel <i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al. <i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand

Fonte: Adaptado de Gama, 2004; IBGE, 2012; IMESC, 2020; Mota *et al.*, 2020.

Figura 2- Ilustração da marcação geográfica das formações florestais amazônicas no estado do Maranhão



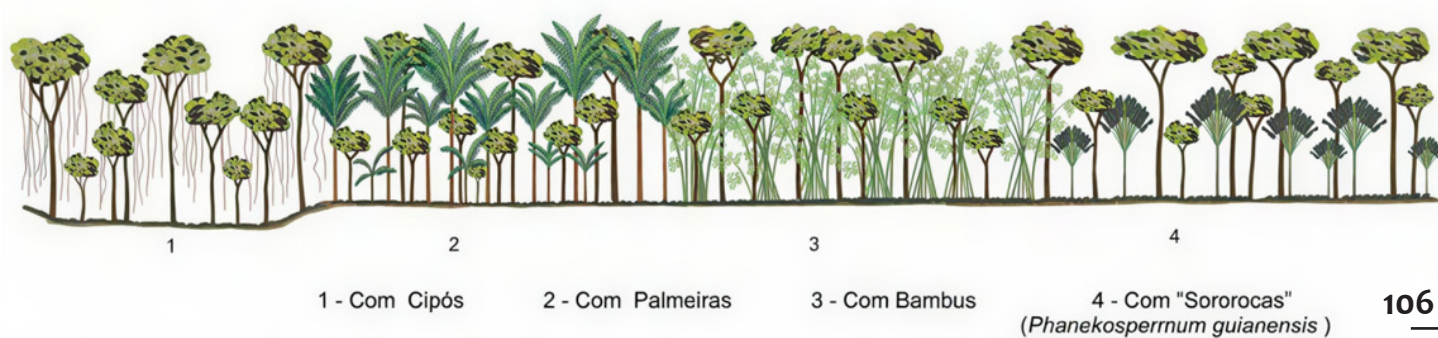
Fonte: Adaptado de IBGE, 2026.

A Floresta Ombrófila Aberta (Figura 2), representa uma vegetação de transição entre a Floresta Amazônica e áreas extra-amazônicas. Sua estrutura é influenciada por quatro faciações florísticas (Figura 3) que criam clareiras e refletem gradientes climáticos caracterizados por mais de 60 dias secos anuais (IBGE, 2012). Sobre substratos areníticos do Cenozoico e Terciário desenvolvem-se comunidades

florestais dominadas por palmeiras em grande parte da Amazônia e por bambuzais na porção ocidental, especialmente em áreas onde houve exploração de espécies madeireiras como *Cedrela*, *Ocotea* e *Aspidosperma*. Já as faciações com sororoca e cipó ocorrem preferencialmente em depressões do embasamento pré-cambriano e encostas dissecadas dos planaltos amazônicos (IBGE, 2012).

A chamada floresta com cipó pode tornar-se uma “floresta-de-cipó” nas depressões circulares, devido à elevada abundância de lianas que formam estruturas conhecidas como *Climber towers*. Em encostas dissecadas, essa faciação adquire aspecto ainda mais aberto, dificultando a penetração humana. A faciação dominada pela sororoca, *Phenakospermum guianense* (Rich.) Endl. ex Miq. é comum no sul da Bacia Amazônica, formando extensos agrupamentos em depressões temporariamente inundadas, especialmente no Médio Rio Xingu, em outras regiões ocorre apenas em pequenos agrupamentos (IBGE, 2012).

Figura 3 - Perfil esquemático das faciações florísticas da Floresta Ombrófila Aberta



Fonte: Retirado e Adaptado de IBGE, 2012.

2. Precipitação e Caracterização Pedológica

No Maranhão, é possível encontrar as seguintes sub ordens de solos: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, LATOSSOLO AMARELO, PLINTOSSOLO ARGILÚVICO, GLEISSOLO TIOMÓRFICO e os PLINTOSSOLOS HÁPLICOS (IMESC, 2019) (Tabela 1).

A Floresta Ombrófila Aberta apresenta precipitação média anual entre 1.600 e 2.200 mm, marcada por forte sazonalidade, com período seco bem definido. Já a Floresta Ombrófila Densa recebe índices pluviométricos mais elevados, variando de 2.200 a 3.000 mm, com menor variação sazonal e maior regularidade das chuvas. Essas diferenças climáticas refletem a estrutura, composição florística e dinâmica ecológica das formações (IBGE, 2012; IMESC, 2020) (Tabela 1).

3. Área basal, Diversidade, Espécies Indicadoras

Para área basal, estudos demonstram que em relação a Floresta Ombrófila Densa (Tabela 1) a análise da estrutura horizontal apresenta uma densidade absoluta total estimada de 544 ind. ha⁻¹ com DAP ≥ 10 cm com uma área basal de 32,76 m² ha⁻¹ (Mota et al., 2020).

Em relação a floresta ombrófila aberta, a distribuição da área basal (Tabela 1) para Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras (FOA_{palmeira}) e para Floresta Ombrófila

Aberta com cipós (FOA_{cipó}) foram estimados valores de área basal com DAP ≥ 5 cm de 19,327 m² ha⁻¹ e 13,813 m² ha⁻¹, respectivamente (Gama, 2004).

Em relação a diversidade de espécies e sua dominância relativa para a Floresta Ombrófila Aberta as três espécies mais dominantes são a *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng, seguido por *Platymiscium* sp. Vogel e *Sapium glandulosum* (L.) Morong (IMESC, 2020). Para a Floresta Ombrófila Densa apresentaram *Inga alba* (Sw.) Willd., *Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire et al. e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand como espécies de maior amostragem (Mota et al., 2020). Em relação as famílias para Floresta Ombrófila Aberta, as famílias de maior riqueza são Fabaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Lauraceae e Annonaceae (IMESC, 2020). E para Floresta Ombrófila Densa as famílias de maior riqueza são Fabaceae, Lecythidaceae, Malvaceae e Sapotaceae (Tabela 1) (Mota et al., 2020).

O levantamento bibliográfico realizado confirma-se que as formações florestais amazônicas maranhenses constituem um mosaico vegetacional bem complexo. Essas formações são sustentadas por condições climáticas ombrotérmicas, com temperaturas médias elevadas e precipitação bem distribuída, associadas à predominância de Argissolos, Latossolos e Plintossolos (IBGE, 2012).

A diversidade florística mostrou-se expressiva. A espécie *Attalea speciosa* (babaçu), destaca-se como dominante na área basal de floresta ombrófila aberta, funcionando como indicadora de estágios iniciais de sucessão ecológica (IMESC, 2020). Já para a floresta ombrófila densa, as espécies de maior dominância relativa (Tabela 1) indicam estágios avançados de sucessão ecológica, marcada pela presença de espécies de grande porte, determinando a caracterização da fitofisionomia, é notório as diferenças entre as duas fitofisionomias no bioma amazônico maranhense (Mota et al., 2020).

CONCLUSÃO

Portanto, a importância de se conhecer as principais formações florestais amazônicas no estado do Maranhão é essencial para se entender a diversidade ecológica que apresenta tal bioma, servindo como base de estudo para o corpo científico acadêmico, compreendendo e permitindo identificar, de maneira consistente, a variação estrutural, florística e ambiental existente entre as diferentes principais fitofisionomias florestais amazônicas maranhenses. A sistematização dos dados gerados contribui-se para o aprimoramento do conhecimento sobre a distribuição das florestas ombrófilas aberta e densa no Maranhão, seus padrões ecológicos e os fatores edáficos e climáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO. P, Elienê; LOPES. R, Jucivan; CARVALHO FILHO, Raimundo. Aspectos Socioeconômicos e Evolução Do Desmatamento Na Amazônia Maranhense. In: Martins. B, Marlúcia; Oliveira. G, Tadeu (Org.). **Amazônia Maranhense: Diversidade E Conservação**. Belém: Mpeg, 2011. 35-47 p.

GAMA, João Ricardo Vasconcellos. **Manejo florestal em faixas alternadas para floresta ombrófila aberta no município de Codó, Estado do Maranhão**. 2004. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

IMESC. **Relatório Técnico de Classificação da Vegetação do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE-MA):** Etapa Bioma Amazônico. Ariadne Enes Rocha; Paulo Henrique de Aragão Catunda; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (coordenadores). São Luís: IMESC, 2020. 196 p. ISBN 978-85-61929-25-1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **BDiAWeb: Banco de Dados e Informações Ambientais; Maranhão.** Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>; <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>. Acesso em: 21 abr. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

LIMA, T. C. S. DE ; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Rev. Katál. Florianópolis** v. 10 n. esp. p. 37-45, 2007.

MOTA, Eduardo Rodrigues et al. Diversidade, distribuição espacial e espécies arbóreas estruturantes em Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Oriental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 71192-71208, 2020.

Protótipo didático para visualização do ciclo operacional do sistema de alimentação de combustível

FIGUEIREDO, Fernando Silva¹; SILVA, Luiz Felipe Cristiano²; LIMA, Samuel Estevam³; SILVA, Miguel Rodrigues⁴; CARVALHO, Theylon Francisco Lima⁵; LIMA, Roldão Carlos Andrade⁶

¹ UEMASUL, fernando.figueiredo@uemasul.edu.br; ² UEMASUL, luiz.cristiano@uemasul.edu.br; ³ UEMASUL, samuel.lima@uemasul.edu.br; ⁴ UEMASUL, miguel.silva@uemasul.edu.br; ⁵ UEMASUL, theylon.carvalho@uemasul.edu.br; ⁶ UEMASUL, roldao.lima@uemasul.edu.br
Didactic prototype for visualization of the operational cycle of the fuel supply system

RESUMO

O sistema de alimentação de combustível é fundamental para o desempenho de operações agrícolas, dada sua ampla aplicação em tratores. Considerando sua relevância, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo didático de um sistema de alimentação de combustível para motores de combustão interna, visando aprimorar a compreensão acadêmica de seus componentes e princípios operacionais. A metodologia baseou-se na construção de uma maquete funcional com materiais de baixo custo e alta visibilidade, utilizando mangueiras transparentes e trançadas para representar linhas de baixa e alta pressão, respectivamente. O fluxo foi simulado por bombas de sucção e água com corante, enquanto tanque, filtro e bico injetor foram adaptados de materiais alternativos. Os resultados evidenciaram a eficácia do modelo na distinção de elementos e na visualização de processos de filtragem e pressurização, evidenciando seu potencial como ferramenta didática acessível.

109

Palavras-chave: Maquete didática; Injeção eletrônica; Engenharia agrícola.

INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas são aparelhos que convertem a energia do calor em trabalho (Brunetti, 2018, p. 21). O motor a combustão interna é uma máquina térmica, que, nesse contexto, através da queima de combustível gera trabalho (Martins, 2011). O sistema de alimentação de combustível, componente vital nesse da ignição, o que garante a continuidade do ciclo operacional. Este sistema é responsável por racionar a quantidade necessária de combustível a ser aplicada no motor, para responder à necessidade de trabalho (Pereira, 2015).

Sistemas como o common rail utilizam alta pressão e controle eletrônico para otimizar a pulverização do combustível, permitindo maior eficiência da mistura ar-combustível e menor emissão de poluen (Wang et al, 2016). No setor florestal, máquinas de grande porte, como *harvesters* e *forwarders*, dependem desses sistemas avançados para operar com alto torque em condições severas de carga. Além disso, em função da grande preocupação com impactos ambientais de combustíveis fósseis, novas tendências apontam para a integração de sistemas híbridos e o uso de biocombustíveis em máquinas (Gomes; Falco; Severino, 2024).

Apesar dos avanços, os sistemas de combustível enfrentam desafios críticos

em ambientes florestais, como a contaminação por partículas e água, que causam desgaste prematuro e falhas mecânicas. Nesse sentido, a necessidade de um modelo demonstrativo surge da importância de visualizar na prática o funcionamento de um sistema de injeção de combustível, facilitando a compreensão acadêmica sobre essa parte essencial do motor a combustão interna.

Este trabalho tem como objetivo central o desenvolvimento de um protótipo de sistema de alimentação de combustível voltado para a ilustração pedagógica e de fácil entendimento para os alunos, aplicado ao funcionamento de um motor de combustão interna, especificamente nas particularidades da injeção de combustível no sistema.

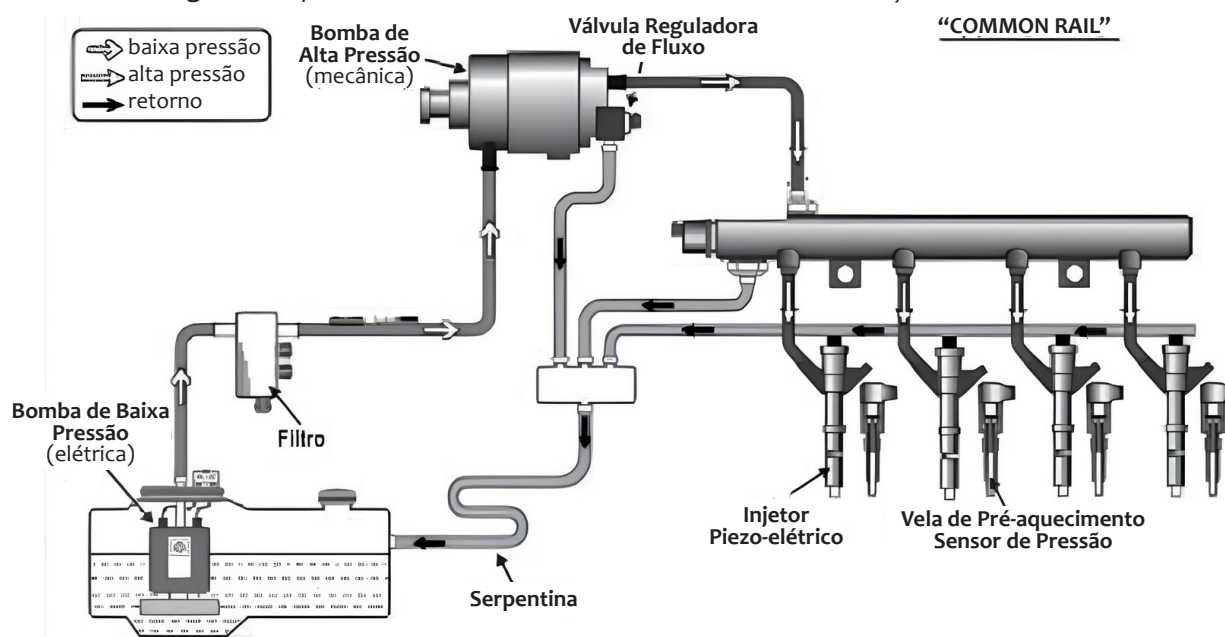
METODOLOGIA

A execução prática deste projeto foi realizada nas dependências do Laboratório de Mecanização e Economia Florestal, onde se buscou transpor a teoria dos sistemas de alimentação de motores para uma plataforma física e funcional. O processo iniciou-se com a estruturação de uma base vertical em painel de madeira compensada, escolhida por sua estabilidade e facilidade de ancoragem. Com o auxílio de uma furadeira manual, o painel foi perfurado para permitir a fixação modular de cada componente, garantindo que o fluido percorra um caminho ascendente e descendente, simulando a disposição real encontrada em compartimentos de máquinas pesadas.

A construção do circuito priorizou a utilização de materiais acessíveis e de alta clareza visual. Para a condução do fluido, foram empregadas mangueiras de polímero transparente, essenciais para a monitorização do fluxo em tempo real. A montagem utilizou bombas elétricas de 5V (adaptadas de sistemas de galão de água) como unidades de transferência, além de recipientes de polímero termoplástico (PET) e tubulações de PVC para simular as unidades de filtragem. A vedação e fixação dos elementos foram garantidas pelo uso combinado de abraçadeiras de nylon e fita isolante de alta aderência, assegurando a estanqueidade necessária para os ensaios de pressão.

A concepção do protótipo estruturou-se na integração de quatro módulos operacionais independentes (Figura 01), mas interdependentes, que mimetizam o ciclo de vida do combustível num motor de combustão interna. O primeiro módulo, focado no armazenamento e estabilidade, utilizou um reservatório de elevada capacidade (20 litros) para garantir a neutralização de turbulências na sucção. Esta escolha técnica visou assegurar que a bomba alimentadora operasse num regime de fluxo laminar, essencial para evitar o fenómeno de cavitação e garantir que o fluido ativo mantivesse propriedades visuais constantes durante todo o ensaio experimental.

Figura 1. Esquema do funcionamento de um sistema de alimentação de combustível comum



Fonte: Adaptado de Manavella (2017).

O segundo estágio da metodologia concentrou-se no tratamento e gestão de contaminantes. Nessa etapa, a aplicação de princípios de mecânica de fluidos permitiu converter materiais do cotidiano em unidades de separação industrial. A câmara de sedimentação, construída a partir de um polímero transparente de geometria convergente, foi estrategicamente posicionada para reduzir a velocidade do fluido, permitindo a separação por diferencial de densidade. Este processo é vital para simular a proteção de injetores de alta precisão, onde a retenção de partículas sólidas e água residual é o fator determinante para a longevidade mecânica do sistema sob condições de carga severa.

A fase de pressurização e transporte de energia foi resolvida através de um sistema de linhas de condução diferenciadas por resistência mecânica. A rede de baixa pressão utilizou condutos flexíveis para facilitar a monitorização visual do fluxo, enquanto a linha de injeção foi equipada com mangueiras de reforço estrutural (trançadas). Esta diferenciação técnica é fundamental para demonstrar a gestão de perdas de carga: a rigidez da linha de alta pressão minimiza a expansão diametral do duto, assegurando que o diferencial de pressão gerado pela bomba de injeção seja integralmente transferido para o bocal, convertendo energia potencial em energia cinética de forma eficiente.

O fim do ciclo operacional deu-se no módulo de atomização estequiométrica, onde o design do bico injetor simulado forçou a transição de fase do fluido. Através da restrição calibrada da secção de saída, o jato líquido foi submetido a um aumento drástico de velocidade, atingindo o ponto crítico onde as forças de coesão molecular são vencidas pela fricção com o ar. O produto resultante foi a formação de um cone de pulverização com gotas de diâmetro microscópico, representando o parâmetro ideal para uma queima rápida e completa. Esta montagem física provou ser uma plataforma de diagnóstico eficaz, transformando conceitos teóricos de termodinâmica em fenómenos observáveis de alta fidelidade técnica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento da maquete, a utilização de materiais de fácil visualização e manuseio se mostrou eficiente na clareza didática, além do menor custo financeiro (Santos e Santos, 2023). O uso de mangueiras transparentes e trançadas, para a representação das tubulações de baixa pressão (formadas por materiais maleáveis) e de alta pressão (de composição metálica e resistente a corrosão) respectivamente, auxilia na diferenciação dos tipos de elementos condutores presentes no sistema.

Além disso, com a implementação de bomba de sucção funcionais pode-se representar o bombeamento do líquido para as tubulações conforme as presentes no sistema, sendo essas a bomba alimentadora e bomba de injeção, proporcionando funcionalidade à maquete com a utilização de água incorporada com corante amarelo circulando por meio das mangueiras em cada componente do sistema, sendo um meio de baixo custo e facilitando a visualização e compreensão (Santos e Linhares, 2019).

Na sequência do sistema representado, destaca-se o copo de sedimentação, cuja construção foi realizada a partir da adaptação de uma garrafa PET de 500 mL, a escolha desse material se deu principalmente por sua disponibilidade, baixo custo e facilidade de manipulação. De maneira semelhante, outros componentes foram desenvolvidos com materiais alternativos, como o filtro de combustível, confeccionado a partir de um segmento de cano para simular sua carcaça. Já o tanque de combustível foi elaborado a partir de um galão com capacidade de 20 litros, escolhido por sua resistência estrutural e compatibilidade com a função de armazenamento. De forma complementar, o bico injetor foi representado na maquete por meio da adaptação de um conector, associado a um bico de mangueira. Essa solução foi adotada com o objetivo de simular, de maneira simplificada, a distribuição e a saída do combustível no sistema, aproximando-se do princípio de funcionamento do bico injetor real.

Dessa forma, a construção do modelo permite representar, de forma didática, o funcionamento do sistema de alimentação de combustível, contribuindo para uma melhor compreensão dos seus componentes e das interações entre eles (Saraiva e Oliveira, 2007). Sua elaboração buscou traduzir, em um modelo físico, os princípios de fornecimento, filtragem, pressurização e injeção de combustível em motores de combustão interna. A limitação de materiais adequados e a escassez de informações técnicas exigiram adaptações e simplificações, sem comprometer a finalidade educativa do modelo. Diante disso, a apresentação da maquete se tornou essencial para melhor compreensão, isso permite evidenciar melhor o papel específico de cada peça, bem como sua função dentro do sistema como um todo, facilitando o entendimento do funcionamento integrado (Figura 2).

Figura 2. Sistema de Alimentação de Combustível.



Fonte: Autores (2026).

Por meio do desenvolvimento da maquete pode-se obter uma melhor compreensão dos componentes que dificilmente podem ser observados diretamente em operação em seu estado interno presentes nas máquinas, tornando mais palpáveis conceitos que podem ser visto apenas como teóricos o que leva a uma maior acessibilidade limitada por aulas expositivas ou figuras, levando aos alunos a entender mecanismos complexos com um aprendizado mais participativo.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do protótipo de sistema de alimentação de combustível atingiu plenamente o objetivo de traduzir conceitos teóricos complexos em uma ferramenta física de fácil compreensão. A utilização de materiais de baixo custo e alta visibilidade, como mangueiras transparentes e componentes adaptados, permitiu a observação direta de processos que normalmente ocorrem de forma oculta no interior dos motores, como a filtragem, a pressurização e a injeção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2018.

GOMES, G. C.; FALCO, L. R. R.; SEVERINO, M. C. Análise integrativa sobre o uso de biocombustíveis em motores de combustão interna: desempenho, emissões e durabilidade. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 4, n. 11, p. e6657, 2024.

MANAVELLA, Humberto. **Monitor do sistema de combustível gera a precisão do sistema de injeção eletrônica – Parte 2**. [S. l.]: Oficina Brasil, 2017. Disponível em: <https://oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/monitor-do-sistema-de-combustivel-gera-a-precisao-do-sistema-de-injecao-eletronica-parte-2>. Acesso em: 13 abr. 2026.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Minho, Portugal: Pubindústria, 2011.

PEREIRA, Bruno Silva. **Controle da mistura ar/combustível em um motor a combustão interna: sistema em malha fechada**. 2015. *Dissertação* (Mestrado em Microeletrônica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SARAIVA, T. C. S.; OLIVEIRA, J. D. Utilização de maquetes na prática pedagógica para o ensino de biologia celular. **Ensino em Re-Vista**, Uberlândia, v. 32, e2025-21, 2025.

SANTOS, F. J. O.; LINHARES, J. C. S. O uso de maquetes no estudo das ciências nas séries iniciais do ensino fundamental. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 6., 2019, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: CONEDU, 2019.

SANTOS, R. S.; SANTOS, R. O uso de maquete como material e estratégia didática facilitadora de ensino-aprendizagem sobre seleção natural. In: ENCONTRO NACIONAL DAS LICENCIATURAS (ENALIC), 9., 2023, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2023.

WANG, Lan et al. Effect of characteristic parameters on the magnetic properties of solenoid valve for high-pressure common rail diesel engine. **Energy Conversion and Management**, v. 127, p. 656-666, 2016.

Terras Indígenas no Maranhão: Organização Territorial e Contexto Atual

Indigenous Lands in Maranhão: Territorial Organization and Current Context

ARAÚJO, Daniel Brito¹; COELHO, Gabriel de Sousa²; DA SILVA, Izabela Rabelo Vieira³; DE ALMEIDA, Larissa Rodrigues⁴; DOS SANTOS, Rafael Silva⁵; ANGELO, Dalton Henrique⁶; SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues⁷.

¹Uemasul, daniel.araujo@uemasul.edu.br; ²Uemasul, gabriel.coelho@uemasul.edu.br;

³Uemasul, izabela.vieira@uemasul.edu.br; ⁴Uemasul, larissa.almeida@uemasul.edu.br;

⁵Uemasul, rafael.s.santos@uemasul.edu.br; ⁶Uemasul, dalton.angelo@uemasul.edu.br; ⁷UEPA, chaiane.r.schneider@uepa.br.

RESUMO

As Terras Indígenas no Maranhão situam-se em áreas de transição entre Amazônia e Cerrado, sendo fundamentais para a conservação da biodiversidade e manutenção de modos de vida tradicionais. Entretanto, observa-se insuficiência na integração entre dimensões territoriais, legais e socioambientais, sobretudo quanto à governança e às pressões antrópicas. O estudo teve como objetivo analisar essas terras sob tais perspectivas, relacionando distribuição espacial, uso do solo e vulnerabilidades. Trata-se de pesquisa descritiva e exploratória, baseada em revisão bibliográfica e documental de fontes institucionais e científicas. Os resultados indicam a existência de 20 terras, majoritariamente demarcadas, concentradas em áreas estratégicas, porém sujeitas à expansão agropecuária, queimadas e conflitos fundiários. Conclui-se que a efetividade dessas áreas depende do fortalecimento da governança territorial e da regularização fundiária, contribuindo para o avanço das discussões socioambientais.

Palavras-chave: Governança territorial; Conservação ambiental; Pressões antrópicas.

INTRODUÇÃO

A análise das Terras Indígenas no Brasil tem sido desenvolvida sob as perspectivas dos direitos territoriais, conservação ambiental e conflitos fundiários (Bragato; Bigolin, 2017; Dias, 2019). Esses territórios correspondem a áreas tradicionalmente ocupadas por povos indígenas, que mantêm uma relação intrínseca com o espaço, envolvendo dimensões culturais, econômicas e ambientais. No Maranhão, a população indígena é de aproximadamente 41.677 pessoas, em sua maioria residente em terras oficialmente reconhecidas (IBGE, 2022; FUNAI, 2026). Inseridas em áreas de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, essas terras apresentam elevada diversidade ambiental e desempenham papel estratégico na conservação da biodiversidade e no uso sustentável dos recursos naturais (Silva-Júnior *et al.*, 2023; Pena *et al.*, 2026; ISA, 2022).

Apesar dessa relevância, persistem lacunas na compreensão integrada dessas áreas, especialmente quanto à relação entre distribuição territorial, uso do solo e pressões antrópicas. Embora o reconhecimento jurídico seja assegurado pela Constituição de 1988, sua efetivação ainda enfrenta limitações institucionais, conflitos fundiários e pressões associadas à expansão agropecuária e à exploração

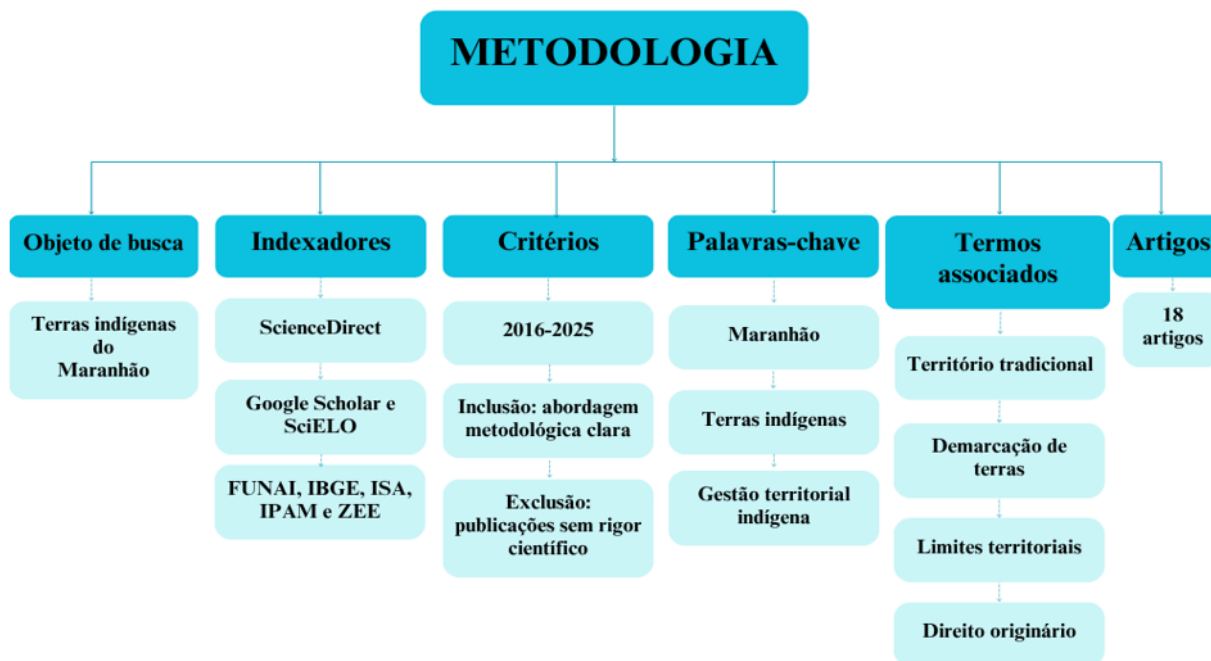
de recursos naturais (Ferrante; Fearnside, 2019; ISA, 2021). Nesse sentido, observa-se a necessidade de abordagens que integrem, de forma articulada, os aspectos legais, territoriais e ambientais dessas áreas.

Estudos recentes evidenciam o papel das Terras Indígenas na manutenção da integridade ambiental, especialmente em regiões de fronteira agrícola (Silva-Júnior et al., 2023; Pena et al., 2026). No Maranhão, essas áreas configuram-se como territórios estratégicos para a conservação e para a manutenção de modos de vida tradicionais, embora sujeitas a diferentes níveis de pressão socioambiental. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica, as Terras Indígenas do Maranhão sob as perspectivas territorial, legal e socioambiental, com ênfase na distribuição espacial, no uso do solo e nas pressões antrópicas.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritiva e exploratória, baseada em análise bibliográfica e documental sobre as Terras Indígenas no Maranhão. Os dados foram obtidos em bases acadêmicas e documentos oficiais como FUNAI, IBGE, ISA, IPAM e ZEE, organizados em categorias temáticas e analisados de forma interpretativa, buscando identificar padrões e desafios contemporâneos (Figura 1). Também foram considerados marcos normativos, como a Constituição de 1988, para compreender as relações entre território, direitos indígenas e sustentabilidade socioambiental.

Figura 1. Metodologia de revisão bibliográfica

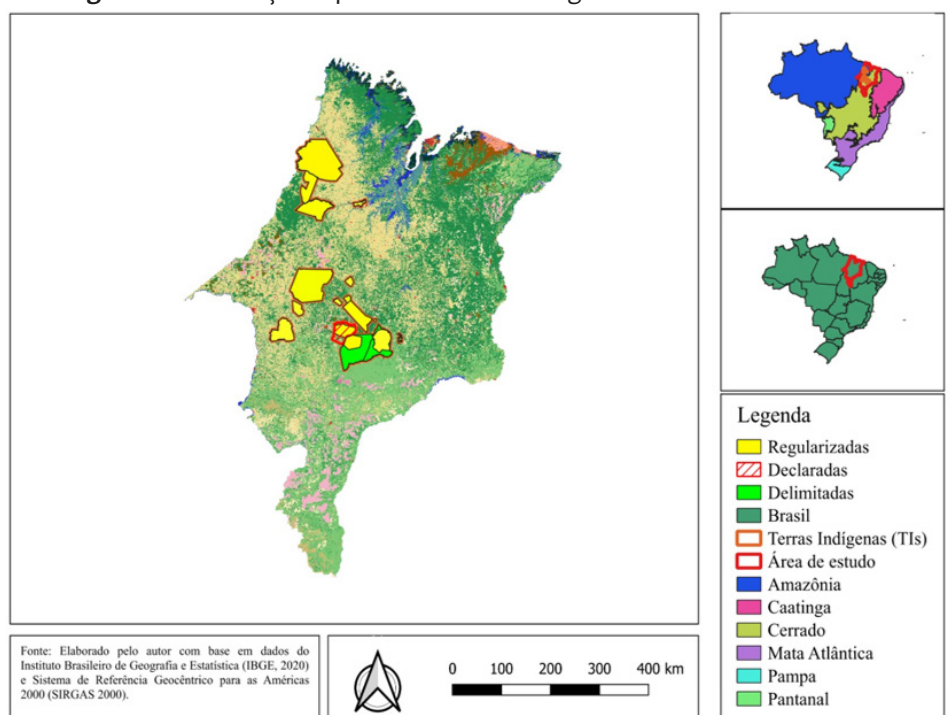


Fonte: Elaborado por autores, 2026.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento de dados institucionais indica que o Maranhão possui aproximadamente 20 Terras Indígenas (TIs), das quais cerca de 17 estão demarcadas, correspondendo a aproximadamente 85% do total (FUNAI, 2023; ZEE-MA, 2022). Essas áreas apresentam grande variação de extensão, com destaque para a Terra Indígena Alto Turiaçu, com cerca de 530.000 hectares. Quanto à distribuição espacial, concentra-se nas regiões oeste e centro-norte do estado (figura 2), em áreas de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, o que reforça sua importância para a conectividade ecológica e conservação da biodiversidade (MAPBIOMAS, 2023).

Figura 2. Distribuição espacial das Terras Indígenas no estado do Maranhão



Fonte: Elaborado por autores, 2026.

Do ponto de vista jurídico, as Terras Indígenas são bens da União, de usufruto exclusivo dos povos indígenas, conforme a Constituição Federal de 1988. No Maranhão, cerca de 15% dessas áreas ainda apresentam pendências de regularização, associadas a processos de demarcação ou conflitos fundiários, o que compromete sua proteção territorial (ISA, 2022). A insegurança jurídica favorece pressões externas e limita a gestão territorial, evidenciando a relação entre governança e conservação ambiental.

Sob o ponto de vista demográfico, o Maranhão abriga cerca de 57.166 indígenas, correspondendo a aproximadamente 0,84% da população estadual (IBGE, 2023). Reforçando a dependência dessas comunidades em relação ao território e aos recursos naturais, destacam-se as etnias Guajajara, Awá-Guajá, Ka'apor, Timbira, Kanela e Krikati, cujos modos de vida se baseiam em atividades como extrativismo, caça, pesca e agricultura de subsistência (Santos *et al.*, 2024; Pimenta e Coelho, 2024).

As principais pressões antrópicas incluem a expansão agropecuária, queimadas,

exploração ilegal de madeira e conflitos fundiários, sobretudo em áreas menos regularizadas. O avanço de monoculturas, como soja e eucalipto, tem intensificado a fragmentação da paisagem e a redução da vegetação nativa, enquanto as queimadas agravam os processos de degradação ambiental (MAPBIOMAS, 2023; MMA, 2021).

Com relação à produção científica, esta apresenta predominância de estudos voltados à dimensão ambiental e socioambiental, com menor enfoque em aspectos legais e de governança territorial. Estudos como os de Garnett *et al.* (2018), FAO e FILAC (2021) e RAISG (2020) destacam a relevância das Terras Indígenas para a conservação ambiental e sua vulnerabilidade frente às pressões antrópicas. De forma integrada, esses resultados indicam que a efetividade dessas áreas depende da regularização fundiária, do fortalecimento institucional e da articulação entre conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico (IPAM, 2021).

A partir da integração dos dados apresentados, elaborou-se uma síntese dos principais aspectos relacionados às Terras Indígenas no Maranhão, contemplando suas características, limitações e implicações socioambientais (Quadro 1).

Quadro 1. Síntese das características, limitações e implicações socioambientais das Terras Indígenas no Maranhão

Dimensão	Principais características	Problemas identificados	Implicações socioambientais
Territorial	24 Terras Indígenas, com concentração nas regiões oeste e centro-norte; inserção em áreas de transição entre Amazônia e Cerrado	Pressão da expansão da fronteira agropecuária	Fragmentação da paisagem e comprometimento da conectividade ecológica
Legal	Cerca de 85% das TIs demarcadas; reconhecimento constitucional como bens da União	Pendências de regularização e conflitos fundiários	Insegurança jurídica e maior vulnerabilidade à ocupação irregular
Ambiental	Elevado grau de conservação e atuação como barreiras ao desmatamento	Queimadas e exploração ilegal de madeira	Degradação ambiental e perda de biodiversidade
Socioeconômica	População dependente do território e de atividades tradicionais (extrativismo, caça, pesca e agricultura de subsistência)	Baixa inserção econômica formal e limitações de políticas públicas	Vulnerabilidade social e restrições ao desenvolvimento sustentável

Fonte: Adaptado de FUNAI (2023), ZEE-MA (2022), ISA (2022), IBGE (2023) e MAPBIOMAS (2023).

CONCLUSÕES

Os resultados apontam que, embora a maioria das Terras Indígenas no Maranhão esteja formalmente demarcada, persistem inconsistências entre o reconhecimento jurídico e a efetiva proteção territorial, especialmente em áreas sob maior pressão agropecuária. A análise integrada permitiu indicar que a vulnerabilidade dessas terras está diretamente associada à ausência de regularização plena e à fragilidade da governança territorial, afetando a conectividade ecológica em zonas de transição Amazônia–Cerrado. Nesse sentido, o estudo avança ao articular, de forma conjunta, dimensões territoriais, legais e socioambientais, ainda pouco exploradas de maneira integrada na literatura. Assim, contribui para o entendimento das Terras Indígenas

como elementos estratégicos não apenas para a conservação ambiental, mas também para o ordenamento territorial e o desenvolvimento sustentável em regiões de fronteira agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BRAGATO, F. F., BIGOLIN, P. Conflitos territoriais indígenas no Brasil: entre risco e prevenção. **Revista Direito e Práxis**, n. 8, v. 1, p. 156-195. 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations; FILAC – Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y el Caribe. **Forest governance by indigenous and tribal peoples: an opportunity for climate action in Latin America and the Caribbean**. Rome: FAO, 2021.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonia's environment, traditional peoples and the global climate. **Environmental conservation**, n. 46, v. 4, p. 261-263. 2019.

FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas. **Terras indígenas no Brasil: dados e informações institucionais**. Brasília, DF: FUNAI, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/funai>. Acesso em: 20 abr. 2026.

GARNETT, S. T.; BURGESS, N. D.; FA, J. E.; FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, Á.; MOLNÁR, Z.; ROBINSON, C. J.; LEIPER, I. A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. **Nature sustainability**, v. 1, n. 7, p. 369-374. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: características da população indígena**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Terras indígenas e conservação na Amazônia brasileira**. Brasília: IPAM, 2021. Disponível em: <https://ipam.org.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

ISA – Instituto Socioambiental. **Terras indígenas no Brasil: situação atual e desafios**. São Paulo: ISA, 2022. Disponível em: <https://www.socioambiental.org>. Acesso em: 20 abr. 2026.

ISA- Instituto Socioambiental. **Povos indígenas no Brasil: 2017–2022**. São Paulo: ISA, 2022. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/publications/i4l00032_1.pdf. Acesso em: 22 de abr. 2026.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do**

Brasil. São Paulo: Projeto MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Relatório nacional sobre desmatamento e uso do solo no Brasil.** Brasília, DF: MMA, 2021.

PIMENTA, J.; COELHO, M. E.. Alianças transfronteiriças e protagonismo indígena na Amazônia contemporânea: dois casos etnográficos na fronteira Brasil-Peru. **Revista de Antropologia**, v. 67, p. e213671, 2024.

PENA, S. A.; SILVA, C. R.; ALEXANDRE, R. J. R.; VIEIRA, T. B. Conservation gaps and the essential role of indigenous lands in protecting small non-volant mammals in Brazilian Amazonian. **Journal for Nature Conservation**, p. 127242. 2026.

RAISG – Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada. **Amazônia sob pressão: desmatamento e ameaças em áreas protegidas.** São Paulo: RAISG, 2020.

SANTOS, R. J. D.; BONIN, I. T.; MARTINS, M. C. AWA PAPEHAPOHA: um estudo sobre educação escolar entre os Awa Guajá/MA: um estudo sobre educação escolar entre os Awa Guajá/MA. **Revista GeoUECE**, v. 13, n. 25, 2024.

SILVA-JUNIOR, C. H.; SILVA, F. B.; ARISI, B. M.; MATAVELI, G.; PESSÔA, A. C.; CARVALHO, N. S.; MELO, M. Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. **Scientific Reports**, n. 13, v. 1, p. 5851. 2023.

ZEE-MA – Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão. **Subsídios ao planejamento territorial: terras indígenas no Maranhão.** São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2022. Disponível em: <https://www.zee.ma.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2026.

Uso de modelo artesanal na demonstração do funcionamento de motores rotativos

Use of a handmade model in demonstrating the operation of rotary engines

SILVA, Adna Abkeyla Rocha¹; NASCIMENTO, Ana Caroline Gonçalves¹; SILVA, Jennyfer Samara Alves¹; SILVA, Josivânia Barbosa Souza¹; FIGUEIREDO, Luanny Joaquina Santos¹; LIMA, Roldão Carlos Andrade¹

¹ Uemasul, adna.silva@uemasul.edu.br; ana.goncalves.nascimento@uemasul.edu.br; jenyfer.alves@uemasul.edu.br; josivania.silva@uemasul.edu.br; luanny.figueiredo@uemasul.edu.br; roldao.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

Os motores rotativos destacam-se na área de mecanização por sua singularidade e complexidade, sendo considerados componentes particularmente intrigantes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo artesanal de baixo custo que simule o funcionamento do motor Wankel, com sua geometria peculiar e rotor triangular, para auxiliar na visualização de suas fases operacionais. Adicionalmente, avalia-se a eficácia de modelos físicos como ferramenta de aprendizagem na fixação de conceitos de mecânica em estudantes de graduação. Observou-se um engajamento maior e uma assimilação mais efetiva dos conceitos durante as demonstrações em sala de aula, algo que métodos puramente teóricos ou digitais não alcançavam. Concluímos que modelos físicos acessíveis são essenciais para a compreensão de teorias complexas, promovendo um aprendizado ativo e uma formação em engenharia mais prática e investigativa e eficaz.

121

Palavras-chave: Motor Wankel; Ensino de engenharia; Aprendizagem ativa.

INTRODUÇÃO

No âmbito da graduação em engenharias, a integração entre a fundamentação teórica e a prática laboratorial configura-se como um dos principais pilares para a consolidação do conhecimento. A compreensão de máquinas térmicas e sistemas mecânicos complexos frequentemente demanda a materialização do pensamento que diagramas estáticos e modelos puramente matemáticos não conseguem suprir integralmente. Nesse cenário, o emprego de modelos didáticos físicos surge como uma estratégia fundamental para a materialização de conceitos teóricos complexos, facilitando a assimilação de ciclos termodinâmicos e estimulando o desenvolvimento de habilidades técnicas para a resolução de problemas reais na indústria (Schneider, 2023).

O motor rotativo Wankel apresenta-se como um desafio pedagógico singular devido à sua cinemática não convencional. Diferente dos motores de combustão interna alternativos, o ciclo Wankel utiliza um rotor triangular que orbita em uma carcaça geométrica típica do motor rotativo, permitindo que as quatro fases do ciclo (admissão, compressão, expansão e exaustão) ocorram simultaneamente

em diferentes câmaras. A complexidade geométrica envolvida na variação de volume torna o aprendizado por simulações bidimensionais insuficiente para uma compreensão plena da eficiência térmica (Meng, 2023). Dessa forma, a utilização de modelos interativos é determinante para associar a teoria da termodinâmica ao movimento mecânico real e às restrições de projeto.

A construção de modelos artesanais estabelece uma conexão direta entre o conhecimento empírico e o rigor científico exigido na formação em engenharia. Apesar do predomínio de processos automatizados na indústria contemporânea, a concepção e montagem de protótipos físicos do zero permanecem como atividades de alto valor pedagógico (Cuzinato, 2015). Ao projetar um modelo artesanal, o estudante é confrontado com questões críticas de limite dimensional, seleção de materiais e ajustes mecânicos, que são os fundamentos da mecânica de precisão. O método de “aprender fazendo” reforça a retenção do conhecimento ao envolver a resolução de problemas práticos que modelagens digitais muitas vezes simplificam (Aguiar, 2024).

A literatura acadêmica corrobora a eficácia desses modelos físicos na demonstração de processos críticos, como os sistemas de lubrificação e os fluxos de combustão, que geralmente operam em ambiente fechado. O uso de modelos físicos melhora significativamente o desempenho acadêmico em disciplinas de máquinas e mecanização florestal (Cardoso e Raupp, 2024).

A viabilidade de modelos didáticos de baixo custo, utilizando materiais alternativos e a criatividade do discente, é crucial para a democratização do ensino de engenharia. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivos desenvolver um protótipo artesanal de baixo custo que simule o funcionamento do motor Wankel para auxiliar na visualização de suas fases operacionais e avaliar a eficácia do uso de modelos físicos como ferramenta de aprendizagem ativa na fixação dos conceitos de mecânica em estudantes de graduação.

METODOLOGIA

A atividade foi desenvolvida com base em pesquisa bibliográfica realizada em fontes disponíveis em rede, a fim de compreender o funcionamento de motores rotativos e identificar modelos de representação didática adequados à construção da maquete. Após essa etapa inicial, foram definidos os materiais necessários e realizado o planejamento da montagem do protótipo.

A confecção da maquete ocorreu no espaço da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, de forma coletiva, por meio de reuniões do grupo para organização das tarefas e execução das etapas de montagem. Foram utilizados materiais de baixo custo e fácil manuseio, como papelão, isopor, canudos plásticos, palitos para espeto, papel alumínio, cola instantânea, cola branca, papel convencional, estilete, tesoura, cano pvc, fita adesiva transparente e papel cartão com o objetivo de representar os principais componentes do motor, incluindo engrenagens, câmara e demais partes estruturais. Durante o processo, cada elemento foi adaptado para possibilitar a visualização didática do funcionamento do sistema.

Inicialmente, buscou-se automatizar o protótipo com a utilização de um rolamento; entretanto, observou-se que o peso do componente comprometia a estabilidade e o desempenho da estrutura, inviabilizando seu uso na maquete.

Diante dessa limitação, optou-se por apresentar o funcionamento do motor de forma manual, permitindo demonstrar o movimento e a lógica de operação do sistema sem comprometer a integridade do modelo.

Dessa forma, a metodologia adotada combinou pesquisa teórica, planejamento coletivo, construção artesanal e adaptação técnica do protótipo às condições materiais disponíveis, resultando em um recurso didático voltado à compreensão prática do funcionamento do motor rotativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio da utilização do modelo artesanal demonstraram um aumento significativo na fixação de conceitos fundamentais sobre motores rotativos. Durante as demonstrações em sala, observou-se que o corpo discente conseguiu identificar com maior clareza a distinção entre o movimento do eixo excêntrico e a rotação do rotor. A análise direta do protótipo permitiu abordar temas de maior complexidade técnica, como a relação de transmissão entre as peças e os desafios térmicos presentes nas diferentes zonas da carcaça do motor.

A eficácia de modelos didáticos físicos na engenharia é fundamentada pela capacidade de transformar conceitos abstratos em observações tangíveis. O uso de protótipos funcionais, mesmo construídos com materiais simples ou reaproveitados, permite uma visualização clara de componentes internos que normalmente operam de forma oculta, facilitando o ensino técnico e despertando o interesse do discente (Sodré; Rodrigues, 2025). Essa abordagem prática é essencial para superar as limitações de métodos puramente teóricos, especialmente em sistemas mecânicos complexos onde a percepção espacial é determinante.

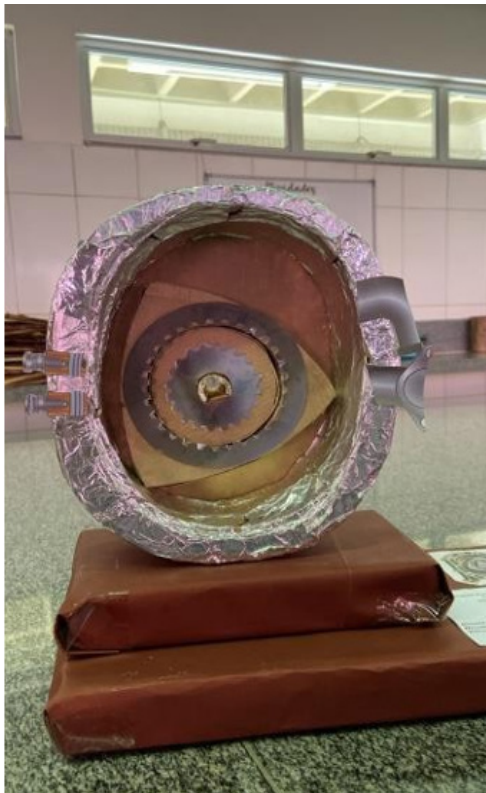
Em comparação ao uso exclusivo de recursos audiovisuais, como slides e vídeos, o emprego do modelo físico proporcionou um engajamento superior. A simplicidade do modelo artesanal foi uma vantagem pedagógica, pois permitiu o foco na mecânica básica do sistema, sem as distrações que um motor real, motorizado e complexo, poderia causar no início do aprendizado (Figura 1). A implementação de metodologias centradas no estudante e caracterizadas pela aprendizagem ativa promove o desenvolvimento de habilidades técnicas, consolidando o conhecimento de forma mais profunda do que o ensino tradicional (Maia *et al.*, 2025).

Além disso, a construção da maquete reforçou a importância da prática para o ensino de engenharia. Ao enfrentar as limitações dos materiais e adaptar o funcionamento do protótipo para o modo manual, o grupo conseguiu associar a teoria dos livros ao movimento mecânico real. Esse processo de montagem e apresentação comprovou que ferramentas didáticas de baixo custo são eficazes para superar dificuldades de visualização espacial que são comuns no estudo do motor Wankel. A utilização de modelos didáticos físicos como ferramenta de apoio ao ensino favorece a observação direta e a experimentação, elementos que são cruciais para a consolidação da aprendizagem ativa no ensino superior (Freitas e Silva, 2023).

A complexidade geométrica do motor Wankel, com seu rotor triangular e geometria típica do motor rotativo, exige estratégias de ensino que acompanhem sua natureza não convencional. A análise do funcionamento desse motor rotativo permite ao estudante visualizar como a ausência de peças alternativas, resulta em um sistema mais compacto e com menor vibração, embora apresente desafios específicos de

vedação e lubrificação (Cardoso *et al.*, 2016). A transição para modelos didáticos manuais permite que o estudante controle a velocidade do processo, facilitando a análise de cada fase do ciclo termodinâmico de forma isolada e detalhada.

Figura 1. Demonstração final do exemplar sobre o motor rotativo de Wankel



Fonte: Autores, 2026.

Dessa forma, a elaboração deste protótipo artesanal evidencia a relevância da integração entre teoria e prática experimental. Iniciativas que envolvem o desenvolvimento de modelos e a prototipagem, vinculadas a abordagens investigativas, ampliam significativamente o potencial de aprendizagem científica e tecnológica, contribuindo para uma formação mais sólida e preparando o futuro engenheiro para os desafios do setor industrial (Wiltgen, 2019).

CONCLUSÕES

A integração entre teoria e prática mostrou-se de suma importância para a consolidação do aprendizado em engenharia, especialmente diante da complexidade de sistemas como o motor rotativo Wankel. Nesse contexto, a construção e utilização de modelos didáticos físicos evidenciaram-se como ferramentas eficazes para tornar conceitos abstratos mais compreensíveis, promovendo maior engajamento e assimilação do conteúdo.

Os resultados obtidos demonstram que, mesmo com recursos simples e de baixo custo, é possível desenvolver instrumentos pedagógicos capazes de facilitar a visualização de fenômenos mecânicos e termodinâmicos, além de estimular o raciocínio crítico e a resolução de problemas. Assim, conclui-se que a adoção

de metodologias ativas, aliadas à construção de protótipos artesanais, contribui significativamente para uma formação mais sólida, prática e acessível no ensino de engenharia

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. A. de. Aplicabilidade dos fenômenos físicos nas engenharias. **Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 11, p. 937–952, nov. 2024.

ALVES, J; SAUERWEIN, R. A. Associando resolução de problemas com simulações computacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 47, e20240177, 2025.

CARDOSO, J. M; RAUPP, D. T. O Ensino de Termodinâmica e as suas relações com questões ambientais: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Prática Docente**, Confresa-MT, v. 9, e24017, 2024.

CARDOSO, W. S. et al. Motor de combustão interna de pistões rotativos triangulares curvilíneos: Wankel. **Rev. Esfera acadêmica tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 75-80, 2016.

CUZINATTO, R. R. et al. Rocketeers UNIFAL-MG: o ensino de Física através do desenvolvimento de foguetes experimentais. **Revista Ciência e Extensão**, v. 11, v. 3, p. 40-62, 2015.

FREITAS, D. D; SILVA, F. E de. C. Desenvolvimento de um modelo didático de motor de combustão. **Caderno Progressus**, Curitiba, v. 3, n. 6, p. 3-10, 2023

MAIA, T. L. P. et al. Metodologia ativa de aprendizagem baseada em projetos: desenvolvimento de planta piloto educacional de uma estação de tratamento de água utilizando *Moringa oleifera* Lam como coagulante. **Scientia Plena**, v. 21, n. 1, 072701, 2025.

MENG, H; JI, C; WANG, S; YANG, J. A review: Centurial progress and development of Wankel rotary engine. **Fuel**, v. 335, 2023.

SCHNEIDER, R. B. A; VALUTHKY, J. G; BELLUCCO, A. A modelagem de Hestenes e o ensino de termodinâmica: uma proposta de sequência didática inclusiva para surdos. **Revista de Ensino de Ciência e Matemática**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 1-17, out./dez. 2023.

SODRÉ, H. H. S; RODRIGUES, T. P. **Ensino aplicado da mecânica automotiva: protótipo didático para o estudo da lubrificação em motores de combustão interna**. 2025. 29 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário Evangélico de Goianésia, Goianésia, GO, 2025.

WILTGEN, F. Protótipos e prototipagem rápida aditiva sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de

Fabricação, 10, 2019, São Carlos, SP. **Anais** [...]. São Carlos, SP: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2019.

Variação de massa seca e umidade do coco babaçu para produção artesanal de carvão vegetal na Reserva Extrativista do Ciriaco, Cidelândia – MA

Variation of dry mass and moisture of babassu coconut for artisanal charcoal production in the Ciriaco Extractive Reserve, Cidelândia – MA.

SANTOS, Bruno Silva Lucena¹; SILVA, Joana Darc Neves²; LIMA, Sâmila Silva³; SILVA, Arthur Nascimento⁴; FRANÇA, Frederico Araújo de⁵; BARROS JUNIOR, Udson de Oliveira⁶; RAABE, Joabel; LIMA⁷, Michael Douglas Roque⁸

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, ¹bruno.s.santos@uemasul.edu.br; ²joana.silva@uemasul.edu.br; ³samila.silva.lima@uemasul.edu.br; ⁴arthur.silva@uemasul.edu.br; ⁵frederico.franca@uemasul.edu.br; ⁶udson@uemasul.edu.br; ⁷joabel.raabe@uemasul.edu.br; ⁸michael.lima@uemasul.edu.br

RESUMO

Este trabalho avaliou como diferentes condições do coco babaçu influenciam na massa seca e o teor de umidade, visando entender seus efeitos na produção de carvão vegetal. O estudo foi realizado na reserva extrativista do Ciriaco (MA), utilizando cocos em diferentes condições: *in natura*, parcialmente secos, deteriorados, resíduos e mistura. As amostras foram analisadas quanto à massa seca e umidade. Os resultados mostraram que a condição da biomassa afeta significativamente as propriedades avaliadas, com maior massa seca nos cocos inteiros e maior umidade nos materiais *in natura* e deteriorados. Conclui-se que biomassa mais seca e homogênea tende a melhorar a eficiência da carbonização, indicando a importância do manejo adequado.

Palavras-chave: Biomassa lignocelulósica; Carbonização; Manejo tradicional.

INTRODUÇÃO

O babaçu (*Attalea speciosa*) é um importante recurso florestal não madeireiro, com destaque socioeconômico para comunidades extrativistas na Região da Amazônia Brasileira. Nesse contexto, a qualidade da biomassa utilizada desempenha papel fundamental na eficiência do processo de carbonização, sendo influenciada por fatores como teor de umidade, estado de conservação e heterogeneidade do material (Mota et al., 2015).

Apesar da importância do tema, ainda são limitados os estudos que avaliam essas variáveis no contexto do manejo tradicional do babaçu. Nesse sentido, compreender como diferentes condições da biomassa influenciam propriedades físicas, como massa seca e umidade, é essencial para otimizar o processo produtivo e reduzir perdas energéticas.

Dessa forma, busca-se responder: como as condições da biomassa influenciam as propriedades massa seca e umidade? E quais condições apresentam maior potencial para otimizar a produção artesanal de carvão vegetal?

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada no município de Cidelândia, estado do Maranhão, em área de ocorrência natural de babaçu (*Attalea speciosa*), onde a produção de carvão vegetal é realizada em sistema artesanal, caracterizado por tambores metálicos de 200 L.

A biomassa utilizada foi constituída por cocos da palmeira babaçu (*Attalea speciosa*) coletados em áreas de extrativismo e em local de estocagem. Foram consideradas diferentes condições da biomassa: cocos recém-caídos da palmeira (*in natura*), cocos submetidos à secagem natural em ambiente coberto por aproximadamente 15 dias, e cocos com sinais de bioteterioração (fungos), representando a variabilidade do manejo tradicional. Adicionalmente, foram incluídas amostras misturadas (mix) e resíduos oriundos do processamento do coco babaçu, compostos predominantemente por cascas (epicarpo e mesocarpo). Na Tabela 1 são descritas as condições de amostragem do coco babaçu utilizado no presente estudo, bem como o número de repetições consideradas. A Figura 1 demonstra visualmente os tratamentos avaliados.

Tabela 1 – Classificação do coco babaçu oriundo da Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada em Cidelândia – MA.

Classificação do coco babaçu	Nº de repetições	Local de amostragem
Coco babaçu <i>in natura</i>	5	Área de extrativismo
Coco babaçu parcialmente seco	5	Local de estocagem
Coco babaçu deteriorado	5	Área de extrativismo
Resíduos (cascas)	10	Local de estocagem
Mix (<i>in natura</i> , parcialmente secos, deteriorados e resíduos)	10	Área de extrativismo e local de estocagem

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, com pesagem das amostras antes e após secagem em estufa a 103 ± 2 °C até massa constante, conforme a ASTM E871-82 (ASTM, 2019), adaptado às condições das amostras analisadas. Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas para determinação da massa seca. A umidade foi calculada com base na diferença entre a massa úmida e a massa seca, sendo expresso em porcentagem. As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Tecnologia da Madeira (LATECMA) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

Os dados de massa seca e umidade passaram por análise descritivas. Inicialmente, foram verificados os pressupostos da análise de variância por meio dos testes de Shapiro-Wilk (normalidade dos resíduos), Levene (homogeneidade de variâncias) e Durbin-Watson (autocorrelação dos resíduos), ao nível de 5% de significância. Atendidas as condições, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) para avaliação do efeito das condições da biomassa. Quando identificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.4.0.

Figura 1 – Condições dos frutos de *Attalea speciosa* avaliados no presente estudo



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo dos tratamentos sobre a massa seca (MS) e a umidade na base seca (UBS) do coco babaçu ($p < 0,05$). Os valores de F calculados foram de 11,45 para MS e 11,16 para UBS (Tabela 2). Os coeficientes de variação foram de 43,01% para MS e 25,62% para UBS.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da massa seca unitária (MS) e umidade na base seca (UBS) do coco babaçu

FV	GL	MS (g)		UBS (%)	
		QM	FC	QM	FC
Tratamento	4	24.476	11,45*	795,7	11,16*
Resíduo	30	2.138	-	71,3	-
Total	34	-	-	-	-
CV (%)	-	43,01		25,62	

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; FC: valor de F calculado; MS: massa seca de coco babaçu; UBS: umidade na base seca; CV: coeficiente de variação

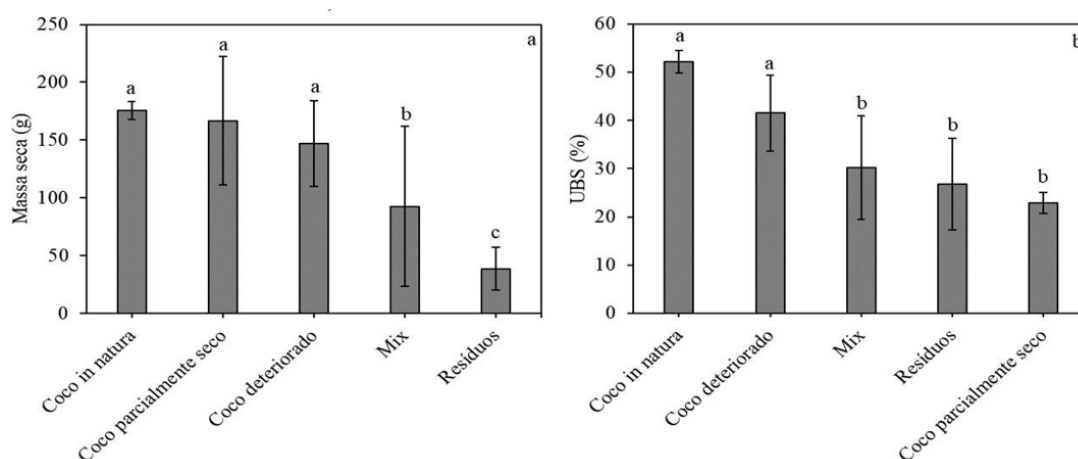
O efeito significativo dos tratamentos sobre a MS e a UBS do coco babaçu indica que a condição da biomassa influencia suas propriedades físicas, refletindo variações no estado de conservação, umidade e nas condições de coleta e armazenamento. Os coeficientes de variação, especialmente para a MS, evidenciam elevada dispersão dos dados, característica típica de biomassa proveniente de sistemas extrativistas sem padronização, podendo estar associada a diferenças na composição estrutural, exposição ambiental e estágio de degradação. Dessa forma, os resultados reforçam a importância da padronização da biomassa como estratégia para reduzir a variabilidade e aumentar a eficiência do processo produtivo.

Para a massa seca (MS), foram formados três grupos distintos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$), com maiores valores para coco babaçu in natura (175,73 g),

coco babaçu parcialmente seco (166,68 g) e coco babaçu deteriorado (146,99 g), que não diferiram entre si; o tratamento mix apresentou valor intermediário (92,80 g), enquanto os resíduos (cascas) apresentaram a menor média (38,83 g). Para a umidade na base seca (UBS), observaram-se dois grupos, sendo os maiores valores registrados para coco babaçu *in natura* (52,22%) e coco babaçu deteriorado (41,51%), e os menores para coco babaçu parcialmente seco (22,87%), resíduos (26,79%) e mix (30,28%), sem diferença significativa dentro de cada grupo (Figura 2).

Em relação à MS, os maiores valores observados para coco babaçu *in natura*, parcialmente seco e deteriorado indicam maior quantidade de material lignocelulósico disponível para conversão em carvão vegetal, sugerindo potencial mais elevado de rendimento gravimétrico nesses tratamentos. Em contrapartida, os menores valores verificados para o mix e, principalmente, para os resíduos (cascas) indicam menor disponibilidade de matéria-prima efetiva. Adicionalmente, o tratamento mix, por reunir materiais em diferentes condições, tende a aumentar a heterogeneidade da biomassa, o que pode implicar redução na eficiência e na previsibilidade do processo de carbonização (Ramos et al., 2024).

Figura 2 – Dados médios de massa seca (a) e umidade na base seca (b) do coco babaçu oriundo da Reserva Extrativista do Ciriaco, localizada em Cidelândia – MA



Em relação à UBS, os maiores valores observados para o coco babaçu *in natura* e deteriorado indicam maior demanda energética para evaporar a água durante a etapa inicial da carbonização. Estudos de pirólise mostram que a primeira fase de degradação térmica da biomassa está associada à remoção da umidade, que ocorre em baixas temperaturas e consome energia sem contribuir para a formação de carvão (Mota et al., 2015). Além disso, biomassa com valores elevados de UBS pode culminar em menores rendimentos em carvão vegetal (Canal et al., 2020). Por outro lado, a menor umidade verificada para o coco babaçu parcialmente seco, pode favorecer o processo, ao reduzir a necessidade de energia para secagem e melhorar a eficiência térmica da carbonização.

Dessa forma, os resultados indicam que a umidade e a heterogeneidade da biomassa podem influenciar o desempenho do processo de carbonização, sugerindo implicações potenciais sobre a eficiência energética e produtiva. Nesse sentido, o manejo do coco babaçu, especialmente quanto à secagem e à segregação da biomassa, apresenta-se como estratégia promissora para otimização de sistemas

artesanais, embora tais efeitos ainda necessitem de validação experimental quanto ao rendimento do carvão vegetal.

CONCLUSÕES

A condição da biomassa de coco babaçu influencia significativamente a massa seca e a umidade, refletindo a variabilidade do material em sistemas extrativistas. De modo geral, biomassa com menor umidade e maior uniformidade apresenta potencial para favorecer o processo de carbonização, enquanto materiais mais heterogêneos e com maior umidade podem implicar limitações operacionais. Assim, práticas de manejo, como a secagem prévia e a segregação da biomassa, configuram-se como estratégias promissoras para a otimização da produção de carvão vegetal em sistemas artesanais, embora seus efeitos sobre o rendimento ainda necessitem de validação experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM. **ASTM E871-82(2019)**: Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshohocken: ASTM International, 2019.

CANAL, W. D.; CARVALHO, A. M. M.; FIGUEIRÓ, C. G.; CARNEIRO, A. C. O.; FIALHO, L. F.; DONATO, D. B. Impact of wood moisture in charcoal production and quality. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, p. e20170999, 2020.

MOTA, F. A. S.; VIEGAS, R. A.; LIMA, A. A. S.; SANTOS, F. F. P.; CASELLI, F. T. R. Pirólise da biomassa lignocelulósica: uma revisão. **Revista GEINTEC**, v. 5, n. 4, p. 2511-2525, 2015.

RAMOS, R. D.; LONGUE JÚNIOR, D.; PEREIRA, G. S.; SILVA, J. V. M.; VALLE, M. L. A.; DIAS JÚNIOR, A. F. Influência da densidade básica e da composição química da madeira para o processo de carbonização. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 4, e87722, p. 1-21, 2024.



VIII SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS



Universidade Estadual
do Rio Grande do Sul

