



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA DIGITAL

ADRIELE CRISTINA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES NATIVAS DE MACAÚBA NA
REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS, VISANDO O USO
BIOENERGÉTICO**

PALMAS-TO

2025

ADRIELE CRISTINA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES NATIVAS DE MACAÚBA NA REGIÃO
CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS, VISANDO O USO BIOENERGÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Agroenergia Digital.

Orientador: Prof. Dr. Erich Collicchio

PALMAS-TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- C933c Cristina Santos, Adriele.
CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES NATIVAS DE MACAÚBA NA
REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS, VISANDO O USO
BIOENERGETICO. / Adriele Cristina Santos. – Palmas, TO, 2025.
118 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Agroenergia, 2025.
Orientador: Enich Collicchio
1. Macaúba (*Acrocomia aculeata*) - caracterização morfológica e
ambiental. 2. Potencial bioenergético da macaúba no cerrado. 3. Óleo vegetal -
estimativa em áreas nativas. 4. Estoque e Sequestro de carbono em áreas
nativas. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

ADRIELE CRISTINA SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES NATIVAS DE MACAÚBA NA REGIÃO
CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS, VISANDO O USO BIOENERGÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Agroenergia Digital, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação 26/06/2025

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
ERICH COLLICCHIO
Data: 22/09/2025 21:54:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Erich Collicchio
Orientador – Presidente da Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente
CARLOS JULIANO BRANT ALBUQUERQUE
Data: 15/09/2025 13:44:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque.
Examinador Interno



Documento assinado digitalmente
MARCIA CRISTINA DA SILVA LOPES
Data: 15/09/2025 12:30:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Márcia Cristina da Silva Lopes
Examinadora Externo, UNITINS

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser minha fortaleza, guia e fonte de inspiração em todos os momentos desta jornada, iluminando meu caminho e concedendo-me força e sabedoria para superar os desafios e alcançar este objetivo.

Aos meus amados pais, Luiz e Noêmia, ao meu marido Thiago e a minha filha Ana Catarina pelo amor incondicional, apoio irrestrito e por acreditarem em meu potencial mesmo nos momentos de insegurança. Esta conquista é tanto minha quanto de vocês.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins (UFT), pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos e desenvolver esta pesquisa. Agradeço a toda a equipe de professores e colegas que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Erich Collicchio, pela confiança, paciência, valiosos ensinamentos e pela dedicação na condução deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para a realização desta dissertação.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta etapa da minha vida, o meu mais sincero e profundo agradecimento.

À Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD/AMAZÔNIA), que apoiou de forma significativa na realização este trabalho.

RESUMO

A crescente demanda por fontes renováveis de energia e a necessidade de recuperação de áreas degradadas impulsionam o interesse por espécies nativas com potencial bioenergético, como a macaúba (*Acrocomia aculeata*). Neste contexto, o presente estudo abordou a caracterização ambiental e morfológica de populações naturais de macaúba, bem como a avaliação do potencial bioenergético de seus frutos em quatro sítios experimentais localizados nos municípios de Palmas, Lajeado e Aparecida do Rio Negro, na região central do Tocantins. Foram identificados 574 indivíduos de macaúba, todos confirmados como pertencentes à espécie *Acrocomia aculeata*. A caracterização ambiental dos sítios revelou a ocorrência da macaúba em diferentes fitofisionomias do Cerrado, incluindo Cerrado rupestre, mata de galeria, cerrado denso e pastagem. Em relação ao solo, predominaram Latossolos e as análises químicas do solo indicaram variabilidade nos teores de nutrientes e pH entre os locais, com alguns sítios apresentando limitações nutricionais ou níveis elevados de alumínio, embora a macaúba tenha demonstrado plasticidade em seu desenvolvimento. A análise biométrica dos frutos mostrou considerável variabilidade em suas características, como comprimento, largura e peso das diferentes partes (casca, polpa, endocarpo e amêndoa). O Sítio C destacou-se por apresentar frutos com maior peso médio total e maior proporção de mesocarpo e endosperma, indicando um potencial superior para aproveitamento econômico. A identificação botânica confirmou que todas as amostras coletadas pertenciam à espécie *Acrocomia aculeata*, reforçando a predominância dessa espécie na região e a importância dos herbários para o registro da flora local. A estimativa de estoque de carbono utilizou equações alométricas e indicou que o Sítio A apresentou o maior estoque de carbono, demonstrando seu elevado potencial para sequestro de carbono e contribuição na mitigação das mudanças climáticas. A extração de óleo dos frutos, realizada nos Sítios C e D, indicou que o Sítio C apresentou teores médios de óleo superiores aos do Sítio D (ambiente antropizado de Pastagem Plantada), tanto no mesocarpo quanto no endosperma. O presente estudo evidenciou a variabilidade populacional e produtiva da macaúba na região central do Tocantins, possivelmente influenciada por fatores ambientais e fenológicos. A pesquisa destaca a necessidade de estudos contínuos para identificar genótipos favoráveis à região, para fins de plantio e de melhoramento genético, otimizar a produção e o aproveitamento da macaúba.

Palavras-chaves: *Acrocomia*, populações naturais, bioenergia, teor de óleo

ABSTRACT

The growing demand for renewable energy sources and the need for degraded area recovery drive interest in native species with bioenergetic potential, such as macaúba (*Acrocomia aculeata*). In this context, the present study addressed the environmental and morphological characterization of natural macaúba populations, as well as the evaluation of the bioenergetic potential of its fruits in four experimental sites located in the municipalities of Palmas, Lajeado, and Aparecida do Rio Negro, in the central region of Tocantins. 574 macaúba individuals were identified, all confirmed as belonging to the species *Acrocomia aculeata*. The environmental characterization of the sites revealed the occurrence of macaúba in different Cerrado phytophysionomies, including rocky Cerrado, gallery forest, dense Cerrado, and pasture. Regarding the soil, Latosols predominated, and soil chemical analyses indicated variability in nutrient content and pH among the locations, with some sites presenting nutritional limitations or high aluminum levels, although macaúba demonstrated plasticity in its development. The biometric analysis of the fruits showed considerable variability in their characteristics, such as length, width, and weight of the different parts (husk, pulp, endocarp, and almond). Site C stood out for presenting fruits with a higher average total weight and a greater proportion of mesocarp and endosperm, indicating superior potential for economic exploitation. Botanical identification confirmed that all collected samples belonged to the species *Acrocomia aculeata*, reinforcing the predominance of this species in the region and the importance of herbariums for recording local flora. Carbon stock estimation used allometric equations and indicated that Site A presented the highest carbon stock, demonstrating its high potential for carbon sequestration and contribution to climate change mitigation. Oil extraction from the fruits, performed at Sites C and D, indicated that Site C had higher average oil contents than Site D (anthropized environment of Planted Pasture), both in the mesocarp and endosperm. The present study evidenced the population and productive variability of macaúba in the central region of Tocantins, possibly influenced by environmental and phenological factors. The research highlights the need for continuous studies to identify genotypes favorable to the region, for planting and genetic improvement purposes, to optimize macaúba production and utilization.

Keywords: *Acrocomia*, natural populations, bioenergy, oil content

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais espécies do gênero <i>Acrocomia</i> que ocorrem no Brasil.	15
Figura 2. Visão parcial do cacho de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>) (A) e partes morfológicas do fruto (B)	15
Figura 3. Inflorescência em cachos pendentes da macaúba.	16
Figura 4. Locais identificados de ocorrência natural de macaúba no Brasil.	18
Figura 5. Representação do fruto da macaúba e dos principais produtos e coprodutos formados na cadeia produtiva e suas aplicações.....	22
Figura 6. Reação de transesterificação para a obtenção de biodiesel.....	24
Figura 7 – Região central do estado do Tocantins (Área de estudo), mostrando as duas regiões e seus respectivos municípios.....	28
Figura 8 – Resumo das etapas executadas no presente trabalho	29
Figura 9 – Projeção da região central do Estado, mostrando as áreas identificadas com ocorrências de populações de macaúba (pontos) na Região 1.....	30
Figura 10. Sítio Experimental A – Assentamento São João, município de Palmas, próximo ao aterro sanitário e a mineradora.	32
Figura 11. Sítio Experimental B - Setor Jardim Laila – Distrito de Taquaralto/Palmas. Próximo à rodovia saída para Taquaruçu.	33
Figura 12. Sítio Experimental C - Rodovia TO 010 km 58 - Lajeado.	34
Figura 13. Sítio Experimental D - Unidade A e B. Rodovia TO 020, km 55 – Aparecida do Rio Negro.	35
Figura 14. Etiqueta de identificação no estipe da palmeira (A) e Conferência da etiqueta na planta (B).....	42
Figura 15. Mapeamento de vegetação dos municípios de Palmas, Aparecida do Rio Negro e Lajeado onde estão inseridos os Sítios Experimentais.	44
Figura 16. Macaúba em Cerrado rupestre com afloramento rochoso e gramíneas nas margens, Palmas-TO.....	45
Figura 17. Populações de macaúba em mata de galeria do rio Cipó, Palmas-TO.....	46
Figura 18. Macaúba em cerrado denso beira da T0-010, Lajeado-TO.....	47
Figura 19. Macaubal em pastagem, na margem da T0-010, Aparecida do Rio Negro-TO...48	
Figura 20. Mapas temáticos: A: Declividade; B: Hipsometria, das regiões onde localizam-se os sítios experimentais.....	51

Figura 21. Mapa pedológico das regiões onde estão localizados os Sítios Experimentais. ...	53
Figura 22. Características visuais das populações de Macaúba nos quatros Sítios experimentais. ...	59
Figura 23. Registro em campo de palmeira jovem de macaúba durante avaliação morfológica	60
Figura 24. Comparativo visual dos cachos frutíferos das macaúbas nos quatros Sítios experimentais.	61
Figura 25. Estipe de palmeira com espinhos (A). Estipe de palmeira sem espinho (B)	64
Figura 26. Partes do fruto de macaúba: à esquerda, frutos inteiros com epicarpo e mesocarpo; ao centro, endocarpos abertos mostrando o interior; à direita, amêndoa isolada.....	69
Figura 27. Frutos de macaúba coletados nos quatro sítios experimentais em ordem de tamanho. A imagem apresenta três frutos representativos de cada sítio (A, B, C e D) evidenciando a variabilidade morfológica entre as populações quanto à coloração, tamanho e textura do epicarpo	69
Figura 28: Composição percentual das partes dos frutos nos diferentes Sítios	72
Figura 29. Coleta botânica e a herborização do material vegetal coletado a campo (A) e exsicata do material coletado (B).	74
Figura 30. Distribuição geográfica de <i>Acrocomia aculeata</i> no Brasil, com base em dados de herbários	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo em função do teor de argila.	39
Tabela 2. Valores baixos, médios e altos que são utilizados para interpretar resultados de análise de solo.....	39
Tabela 3. Valores médios da análise física do solo na camada 0-20 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.	54
Tabela 4. Valores máximo, mínimo e médio da análise química do solo na camada 0-20 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.....	58
Tabela 5. Valores máximos, mínimos e médios da análise química do solo na camada 20-40 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.....	58
Tabela 6. Características gerais das plantas de macaúba nos Sítios Experimentais A, B, C e D.	62
Tabela 7. Médias da Circunferência à altura do Peito – CAP (cm), Diâmetro à altura do Peito – DAP (cm), Altura (m) e presença de espinhos nos estipes das palmeiras de macaúba em cada Sítio Experimental.....	65
Tabela 8. Comparação das médias das variáveis: altura, número de cachos e número de inflorescências.	65
Tabela 9: Valores máximo (Máx), mínimo (Mín), média (Méd), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), para comprimento dos frutos (COM), largura dos frutos (LAR), peso dos frutos, casca do fruto fresca (CAF), mesocarpo fresco (MEF), endocarpo fresco (EDF) e endosperma (ENF).....	70
Tabela 10 - Acúmulo médio de carbono por planta de <i>Acrocomia aculeata</i> (kg.planta ⁻¹) por sítio experimental estudado	77
Tabela 11. Estoques de Carbono Total e Equivalente de CO ₂ total por Sítio Experimental .	78
Tabela 12. Teor de óleo (%) extraído do mesocarpo e do endosperma de frutos coletados em Aparecida e Lajeado, em diferentes tempos de extração (30 e 60 minutos)	81
Tabela 13. Comparação das Médias de efeitos principais dos teores de óleo (%) obtidos a partir dos frutos de macaúba nos Sítios C (Lajeado) e D (Aparecida do Rio Negro), considerando os locais de coleta, partes do fruto e o tempo de extração.	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Áreas estudadas com base nos critérios estabelecidos	31
Quadro 2. Identificação, fitofisionomia e uso atual dos solos dos sítios experimentais	49
Quadro 3. Registro das amostras de <i>Acrocomia</i> sp. coletadas pela autora e depositadas no Herbário HUTO e Herbário IAC.	73

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Aspectos botânicos e caracterização da <i>Acrocomia</i> sp.....	14
3.2 Distribuição Geográfica – ocorrência natural da macaúba.....	18
3.3 Utilidades da macaúba	20
3.4 Estoque de carbono e a palmeira macaúba.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Área de estudo	28
4.2 Levantamento das áreas identificadas com populações naturais de macaúba na região central .	30
4.3 As áreas para caracterização ambiental, medições de atributos pedológicos e morfológicos das plantas de macaúba	31
4.3.1 Caracterização ambiental dos sítios experimentais	36
4.3.2 Caracterização morfológica e biométrica das populações de macaúba.....	37
4.3.2.1 Biometria e caracterização morfológica dos frutos.....	37
4.3.3 Identificação botânica	38
4.3.4 Caracterização do solo	38
4.3.4.1 Amostragem e preparação das amostras de solos.....	38
4.3.5 Estimativa de estoque de carbono	39
4.4 Extração de óleo dos frutos	40
4.4.1 Extração e quantificação de óleo do fruto da macaúba	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Caracterização dos ambientes das populações – Sítios experimentais.....	42
5.2 Caracterização do solo	52
5.3 Caracterização morfológica.....	59
5.3.1 Biometria dos Frutos	66
5.4 Identificação botânica e distribuição geográfica	72
5.5 Estimativa de estoque de carbono	76
5.6 Extração de óleo dos frutos de macaúba	80
6. CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE.....	105

1.INTRODUÇÃO

A palmeira macaúba é uma planta nativa do Brasil amplamente distribuída em ambientes com diferentes características edafoclimáticas. Seus frutos apresentam grande potencial econômico devido à presença de óleo na polpa e no miolo, que pode ser utilizado nas indústrias de biocombustíveis, cosméticos e alimentos (MADEIRA et al., 2021).

Apesar dessa ampla distribuição geográfica, pouco se conhece sobre a adaptabilidade da macaúba às condições ambientais como solos, clima e formações vegetais associadas às suas populações no território brasileiro. Tem-se poucos estudos sobre a associação entre as condições ambientais e as características fenotípicas de suas populações (PIRES et al. 2013; COELHO et al., 2017).

O grande interesse por esta espécie como matéria prima para o biodiesel é com base em seu alto rendimento dos frutos (aproximadamente 62 kg por planta), o alto teor de óleo na polpa (45% e 60%, matéria seca) e amêndoa (61% e 68%, matéria seca), e em sua alta qualidade do óleo (LANES, COSTA, MOTOIKE, 2014).

A partir do óleo extraído do mesocarpo do fruto, são produzidos biocombustíveis, biomateriais e cosméticos. A amêndoa fornece óleo fino para o setor de cosmético, além de bioquerosene e sabão. Como resíduo, o endocarpo é direcionado para a geração de energia, carvão e biomateriais (CARDOSO et al., 2017; SOUSA, 2020).

O Brasil, como país agroprodutor, pode se beneficiar do uso racional de energia renovável a partir da biomassa residual, promovendo sustentabilidade e segurança energética. A adoção de uma economia circular, que recicla, reaproveita e agrega valor aos materiais, requer inovação e avanços tecnológicos para minimizar resíduos e recuperar energia, fechando os ciclos industriais (STAHEL, 2016; AMPESE et al., 2021). E com isso a palmeira macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, tem um potencial bioenergético significativo devido ao seu alto teor de óleo, o que a torna uma matéria prima promissora para a bioenergia (ORTEGA et al., 2024).

Tradicionalmente, a exploração econômica da macaúba é feita de forma extrativista, entretanto, existem projetos e áreas com cultivo comercial da macaúba visando atender o mercado energético e alimentício. Porém, existem vários trabalhos em andamento sobre a cultura e formas de utilização dos frutos, contribuindo aos poucos para construção de informações técnicas sobre a cultura (EVARISTO et al., 2017). Nesse cenário, é fundamental promover programas de melhoramento genético da macaúba, visando o cultivo sistemático e à futura comercialização em larga escala. No Brasil, diversas iniciativas comerciais já estão em

andamento, destacando-se os programas Entaban Brasil, Solea e Inocas, que direcionam sua produção principalmente ao mercado interno (SANT'ANA et al., 2023).

Com o advento da crise climática, onde os países e empresas buscam reduzir emissões, a transição energética é um caminho desafiador e relevante para mitigar os potenciais impactos das mudanças do clima. Nesse contexto, recentemente a empresa Acelen Renováveis foi criada e encontra-se em fase de implementação e formalização de parcerias, a qual deverá produzir em escala mundial, combustíveis renováveis de última geração a partir de matérias primas de alto valor energético, como a Macaúba e o Dendê. A Acelen tem a meta de produzir 1 bilhão de litros/ano de combustível renovável de aviação (SAF, na sigla em inglês) e diesel verde (HVO, em inglês), além de energia térmica e outros coprodutos de alto valor agregado. Nesse sentido, a macaúba ganha destaque pela sua ampla adaptabilidade, além de ser cultivada prioritariamente em terras degradadas (ACELEN, 2024).

No Tocantins também há a necessidade do mapeamento da ocorrência dos maciços de macaúba, realização de experimentos, principalmente quanto ao desempenho do óleo para fins energéticos. Além disso, há necessidade de estudos genéticos das espécies dessa região e desenvolvimento de mais pesquisas com vistas à possibilidade de plantios comerciais de macaúba (NUNES, 2015).

Outro aporte da macaúba é que também pode contribuir para o sequestro de carbono e recuperação de áreas degradadas. Como apenas os frutos são removidos, o carbono fixado pela espécie, permanece estocando, sugerindo que o acúmulo de carbono por essas palmeiras seja maior do que culturas agrícolas que são colhidas anualmente ou de outras 10 espécies arbóreas que são colhidas com maior regularidade por remoção total ou de grande parte de sua biomassa total (TOLÊDO, 2010; MOREIRA, 2019).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo de avaliar o potencial bioenergético de populações naturais de macaúba, na região central do estado do Tocantins.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar e caracterizar as populações naturais de macaúba na região central do estado do Tocantins, visando avaliar o potencial bioenergético.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar ambientalmente, quanto à altitude, declividade, fitofisionomia do Cerrado e uso da terra nas áreas identificadas com populações naturais de macaúba;
- Realizar caracterização do solo avaliando a composição química e classe textural, nas áreas de ocorrência da macaúba;
- Efetuar caracterização morfológica e biometria das plantas *in loco*;
- Realizar identificação botânica da espécie de macaúba das populações naturais estudadas, com o apoio de instituição especializada;
- Calcular o estoque de carbono de plantas de macaúba nas áreas de ocorrência;
- Estimar o teor de óleo dos frutos de macaúba provenientes das áreas de estudo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos botânicos e caracterização da *Acrocomia* sp.

O gênero *Acrocomia* pertence à família Arecaceae, anteriormente denominada Palmae, ordem *Arecales*, classe Liliopsida, divisão Magnoliophyta, reino Plantae (MOURA, 2007; SILVA, 2017). A palavra *Acrocomia* é de origem grega: akros - alto e kome (cabeleira), sugerindo que as folhas estão dispostas no formato de uma coroa (NOVAES, 1952; SILVA, 2017).

Os primeiros registros sul-americanos de literatura científica sobre a macaúba datam da década de 1940, fornecia informações sobre botânica e uso de produtos e coprodutos (ROCHA, 1946; CARDOSO et al., 2017).

Uma classificação alternativa foi proposta por Pimentel et al. (2011) com base na avaliação da diversidade e taxonomia do gênero *Acrocomia*, sendo assim, três subespécies/ecótipos distintos da espécie *Acrocomia aculeata* foram propostas: *A. intumescens*, *A. sclerocarpa* e *A. totai*.

Acrocomia tem atualmente nove espécies, aceitas, sendo sete com ocorrência no território nacional, e quatro destas sendo endêmicas do Brasil. Essas espécies são: *A. hassleri*, *A. corumbaensis*, *A. crispa*, *A. emensis*, *A. totai*, *A. glaucescens*, *A. media*, *A. intumescentes* e *A. aculeata* (VIANNA; CAMPOS-ROCHA, 2020). E conforme indicado no Inventário Florestal do Tocantins, coordenado por Haidar; Dias; Pinto (2013), foi descrito a predominância da espécie *A. aculeata* em todas as regiões onde foi realizado o inventário.

As espécies do gênero podem ser divididas em dois grandes grupos, um formado pelas espécies de pequeno porte (*A. emensis*, *A. glaucescens*, *A. hassleri*), com rizoma subterrâneo, caule muito curto, ou estipe variando até 6,5 m de altura e, outro grupo composto pelas espécies de porte arbóreo (Figura 1), com estipe solitário, aéreo, liso ou variavelmente espinoso, coberto em sua totalidade, parcialmente ou não pelos resquícios das bainhas das folhas já caídas (LORENZI et al., 2010; VIANNA, CAMPOS-ROCHA, 2020).

As folhas dessas palmeiras são pinadas com tamanho e número de pinas variável, com espinhos ou não. As inflorescências são interfoliares, de tamanho diversificado com as flores pistiladas formando tríades inseridas na porção basal da ráquulas e as estaminadas, em grande número nos dois terços superiores. Os frutos são globosos (Figura 2), apresentam variação quanto ao tamanho, cor e revestimento do epicarpo, o mesocarpo é carnoso, fibroso, geralmente amarelo, ocorrendo outras cores; o endocarpo é ósseo, marrom escuro a negro, espesso; 1–4

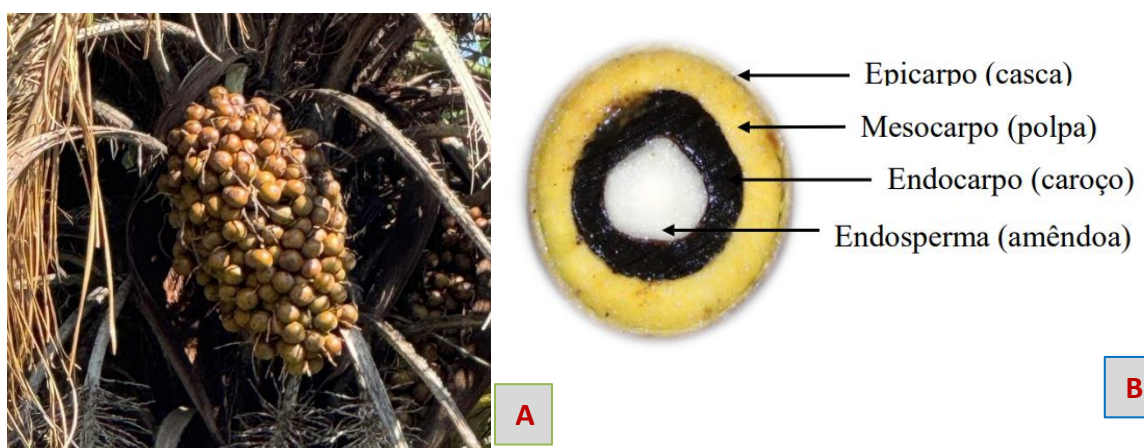
sementes com endosperma homogêneo (LORENZI et al., 2010; VIANNA; CAMPOS-ROCHA, 2020).

Figura 1. Principais espécies do gênero *Acrocomia* que ocorrem no Brasil.



Fonte: Silva (2017)

Figura 2. Visão parcial do cacho de macaúba (*Acrocomia aculeata*) (A) e partes morfológicas do fruto (B)



Fonte: Foto A: próprio autor e Foto B: Silva (2017)

As espécies de *Acrocomia* são espinhosas, com hastes solitárias, elas carregam flores unissexuais de ambos os sexos (Figura 3), dispostas na mesma inflorescência (monóica), em cachos com média de 50 a 80 cm de comprimento e anualmente produzem abundantes frutos

que são comidos por várias espécies de mamíferos e pássaros que são responsáveis por sua dispersão (LORENZI et al., 2010). Normalmente, o desenvolvimento dos frutos começa durante a estação chuvosa e é concluído no início da estação seca (LIMA et al., 2018).

Figura 3. Inflorescência em cachos pendentes da macaúba.



Fonte: Carvalho; Souza; Machado (2011)

O nome popular da macaúba, varia de acordo com a região de ocorrência da espécie. No Brasil, além de macaúba, também é conhecida como macaúva, mucaja, mucuja, macaíba, macajuba, coco – baboso, coco – de – catarro, chiclete – de – baiano, bocaiúva, entre outros, dependendo da região. Já em outros países pode ser encontrada como bocayá (Argentina), totaí (Bolívia), corozo (Colômbia, Venezuela), tamaco (Colômbia), coyol (Costa Rica, Honduras, México), corosse (Haiti) (CARVALHO; SOUZA; MACHADO, 2011).

A espécie *Acrocomia aculeata* têm a bainha, o pecíolo e a ráquis cobertos por espinhos escuros agudos e resistentes; a copa é rala e aberta, com o arqueamento das folhas inferiores; os folíolos são longo-acuminados, flexíveis e verdes; as flores são monoicas, de coloração amarelo-claras. As inflorescências, de coloração amarelada, são agrupadas em cachos pendentes com comprimentos variáveis, do tipo espádice (JUNQUEIRA et al., 2016; VIEIRA, CAMILLO, CORADIN, 2016).

A polinização da espécie *A. aculeata* é realizada por besouros, sendo o vento um fator secundário de polinização. Os principais polinizadores são *Andranthobius* sp. (Curculionidae), *Mystrops* sp. (Nitidulidae) e *Cyclocephala forsteri* (Scarabaeidae) (JUNQUEIRA et al, 2016). Segundo Scariot et al. (1991), o fato de a macaúba ser propagada por insetos e pelo vento, aliado

a um sistema reprodutivo flexível, uma vez que pode haver fecundação cruzada e autopolinização, sugere que a espécie pode ter sucesso na colonização de novas áreas.

Diversos trabalhos de caracterização botânica de espécies do gênero *Acrocomia* podem ser encontrados na literatura referentes ao estipe, folha, inflorescência e infrutescência, sendo na sua maioria, atributos baseados em caracteres de fácil detecção e mensuração com pouca influência ambiental (FARIA, 2012; NOBRE et al., 2015).

Viana et al (2017) reforçam relatando que a biometria dos frutos pode ser útil para distinção taxonômica, pois persistem dúvidas sobre o número de espécies mais adequado para o gênero *Acrocomia*. No entanto, a maioria das classificações botânicas são baseadas apenas em dados morfológicos, muitos deles apresentando variação de genótipo vs. natureza do ambiente. Assim, podem ocorrer erros, o que demonstra a importância da utilização de outras técnicas que poderiam ajudar a dividir as espécies.

Com isso, a caracterização biométrica dos frutos da palmeira é fundamental, para a sua identificação e subsidiar a conservação e exploração de recursos vegetais, uma vez que tais dados permitem estimar a produtividade e classificar lotes de sementes mais homogêneos e, consequentemente, com mais uniformidade e vigor (MOURA et al., 2010; VIANA et al., 2017). Também é uma ferramenta útil para detecção da variabilidade genética dentro de populações de uma mesma espécie e as relações entre esta variabilidade e fatores ambientais, informações úteis em programas genéticos (CARVALHO et al., 2003; VIANA et al., 2017).

A estimativa de produtividade de diferentes partes da planta, são informações básicas para o planejamento extrativista sustentável, implantação de plantios comerciais, aplicações industriais, melhoramento genético e planos de conservação, bem como para subsidiar estudos taxonômicos, ecológicos e outros (VIANA et al., 2021)

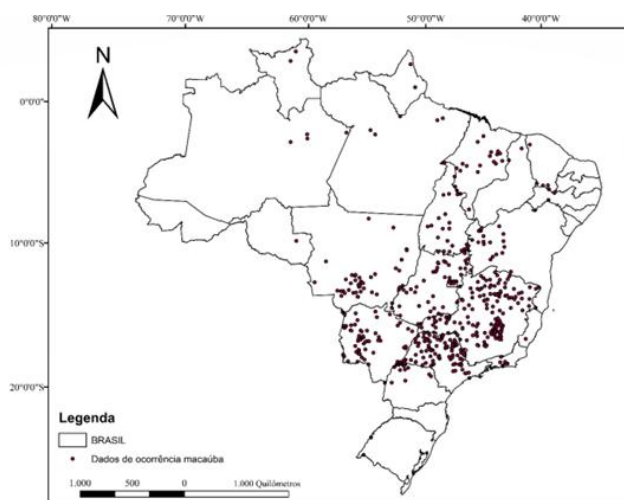
Um ponto importante a ser levado em consideração é que a macaúba é uma planta perene e, portanto, um programa de domesticação convencional pode levar de 8 a 10 anos (MANFIO et al., 2011; CARDOSO et al., 2017). Nesse contexto, a ampla seleção genômica é vista atualmente como uma das ferramentas mais promissoras para aumentar a eficiência do processo de seleção, reduzindo o ciclo de melhoramento e os custos de lançamento de cultivares, além de aumentar o ganho genético entre as gerações de melhoramento (RESENDE et al., 2012; CARDOSO et al., 2017).

3.2 Distribuição Geográfica – ocorrência natural da macaúba

O gênero *Acrocomia* ocorre em áreas tropicais e subtropicais das Américas, desde o México, até o norte da América do Sul, América Central e ilhas do Mar do Caribe, sob diferentes fisionomias, sendo mais comum sua ocorrência em áreas abertas de Cerrado (VIANNA; CAMPOS-ROCHA, 2020).

A *Acrocomia aculeata* ocorre, de forma natural, no norte e no nordeste da Argentina, na Bolívia, no México e no Paraguai (CARVALHO, 2014). No Brasil, a macaúba ocorre de forma espontânea em quase todo o território brasileiro (Figura 4). No entanto, suas populações mais densas estão localizadas em Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo difundidas em áreas do bioma Cerrado (COELHO et al., 2017).

Figura 4. Locais identificados de ocorrência natural de macaúba no Brasil.



Fonte: Petersen (2023)

Esta ampla distribuição indica sua adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima. No entanto, de acordo com os autores Motoike et al. (2013) e Lima et al. (2018), a ocorrência natural está associada a solos eutróficos (alta fertilidade) com uma média de pH 5,5 e textura argilosa. Porém também está adaptado a solos arenosos e com baixo índice hídrico (LORENZI, 2006; RODRIGUES, 2018)

Apesar dessa ampla distribuição geográfica, pouco se conhece sobre a adaptabilidade da macaúba às condições ambientais como solos, clima e formações vegetais associadas às suas populações no território brasileiro. Tem-se poucos estudos sobre a associação entre as condições ambientais e as características fenotípicas de suas populações. No entanto, a combinação de plasticidade ecológica, atributos fisiológicos favoráveis como alta capacidade

fotossintética e alta produtividade devem dar à macaúba grande capacidade de adaptação aos seus diferentes ambientes naturais (PIRES et al. 2013; COELHO et al., 2017).

Diante disso os autores Lorenzi (2006), Mota (2011) e Rodrigues (2018), reafirmam que a macaúba habita em áreas de vegetação aberta com alta incidência solar, sendo nativa de savanas, cerrado e florestas abertas. São tolerantes a períodos de seca, ocorrendo em regiões onde as estações de seca e chuva são bem definidas. Barleto (2011) e Oliveira et al. (2016) observaram tolerância da macaúba ao déficit hídrico no Cerrado e Semiárido nordestino respectivamente, mostrando um forte controle estomático, prevenindo a perda excessiva de água.

A vegetação de Cerrado compreende um mosaico natural de fisionomias, de campos abertos a savanas e florestas. Acredita-se que a presença de diferentes fitofisionomias em uma região pode ser explicada em parte pela relação direta com os atributos do solo presentes na mesma (RODRIGUES, 2018). Essas fitofisionomias são formações florestais como Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão; formações savânicas que compõem o Cerrado *stricto sensu*, dos tipos denso, típico, ralo e rupestre; as formações campestres como Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo, e ainda Veredas, parque Cerrado e palmeirais (SOUSA, 2018). E esse bioma apresenta diversidade de espécies vegetais, entre as quais determinam as características são as frutas nativas, como pequi, araçá, jatobá e a própria macaúba (RODRIGUES, 2018).

O Estado do Tocantins possui domínios dos biomas Cerrado e Amazônia. Dentre as espécies nativas de palmeiras que têm sido registradas e exploradas em seu ambiente natural, três espécies se destacam no Estado: Babaçu (*Attalea speciosa*), Buriti (*Mauritia flexuosa*) e Macaúba (*Acrocomia aculeata*) (OLIVEIRA et al., 2016). Diante disso no inventário florestal do Estado do Tocantins - Regiões Fitoecológicas da Faixa Centro, confirma que a macaúba foi registrada e está inserida em três fitofisionomias do Cerrado: mata ciliar, cerrado *stricto sensu* e floresta estacional decidual e semidecidual (HAIDAR, DIAS, PINTO, 2013).

Entretanto, no Tocantins ainda há a necessidade do mapeamento da ocorrência dos maciços de macaúba, realização de experimentos, principalmente quanto ao desempenho do óleo para fins energéticos. Além disso, há necessidade de estudos genéticos das espécies e desenvolvimento de mais pesquisas com vistas à possibilidade de plantios comerciais de macaúba (NUNES, 2015).

3.3 Utilidades da macaúba

O fruto da macaúba possui grande potencial produtivo, uma vez que todo ele pode ser aproveitado: casca, polpa, castanha e amêndoa. O fruto poder ser consumido *in natura*, além disso, pode-se extrair o óleo nele contido, sendo o teor de óleo mais expressivo na polpa e amêndoa (CARVALHO; SOUZA; MACHADO, 2011).

Existem muitos exemplos do uso popular da macaúba na alimentação. O óleo da polpa é usado para tratar dores de cabeça e como laxante. A polpa do fruto é usada para tratar doenças, na expectoração de catarro, e como função purgativa, se tomado durante o jejum. Também é usado na alimentação de animais diferentes em várias regiões (COLOMBO et al., 2017).

Os frutos possuem características peculiares e são conhecidos por seus aspectos terapêuticos e nutricionais, devido aos seus compostos bioativos de interesse industrial, como carotenóides e constituintes fenólicos, além de alto teor de ácidos graxos (SILVA; FONSECA, 2016; SOUZA et al., 2020). O óleo obtido da polpa do fruto da macaúba apresenta a coloração amarelo-laranja, devido principalmente à presença de β -caroteno, que corresponde a cerca de 80% dos carotenóides totais (AOQUI, 2012; SOUZA et al., 2020).

A polpa da macaúba é rica em nutrientes e possui ação antioxidante. Pode ser consumida fresco ou processado como farinha, sorvete, bolos, pastéis, biscoitos e geléias (VIANNA et al., 2015; SILVA et al., 2018; SOUZA et al., 2020). Outra característica do fruto da macaúba é o óleo obtido tanto do mesocarpo quanto da semente, que tem apresentado potencial de uso em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos (TEIXEIRA et al., 2017; PRATES-VALÉRIO et al., 2019; SOUZA et al., 2020).

A macaúba é uma espécie pioneira, que abre caminho para a sucessão de espécies, assegurando a conservação e a recuperação ambiental, podendo ter um uso bem aproveitado, consorciada com outras culturas em sistemas agroflorestais ou silvipastoris, ou ser adotada para plantio de áreas de preservação ambiental com possibilidade de exploração comercial dos seus frutos (COLOMBO et al., 2016). A mesma destaca-se por ser uma palmeira que se adapta a solos marginalizados e favorece a recuperação de áreas degradadas, que no Brasil somam mais de 140 milhões de hectares (ALMEIDA; CÉSAR; BATISTA, 2014).

A macaúba exibe alta rusticidade à seca, solos ácidos e fogo (BICALHO et al., 2016; CASTRO et al., 2017), tanto que povoa áreas tropicais com acentuada sazonalidade das chuvas, como as ecorregiões do Cerrado brasileiro (LANES et al., 2015; CASTRO et al., 2017). Assim, o cultivo da macaúba em áreas degradadas, como pastagens abandonadas, ou em sistemas integrados, como consorciação e sistemas silvipastoris, é viável (MOTOIKE; KUKI, 2009). Ambas são práticas agrícolas viáveis, com baixo impacto ambiental (LANES et al., 2016).

Outra vantagem é a probabilidade de usar todas as partes da fruta - o epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo (noz) e semente (caroço) - para produzir co-produtos de grande valor econômico e alta densidade energética. Os resíduos sólidos, após a extração do óleo, podem fornecer bolos de proteína e fibra, carvão e briquetes (PIRES et al., 2013; EVARISTO et al., 2016b). Por estas razões, a macaúba é uma alternativa viável e sustentável (CASTRO et al., 2017).

Na criação de animais em larga escala vislumbra-se, com a maior disponibilização de tortas e farelos de macaúba, a adição em rações para ruminantes (torta da polpa) e monogástricos (torta da amêndoa). A torta da polpa, por seu alto conteúdo em fibras entra como volumoso na alimentação de ruminantes. Para ovinos, a torta de polpa apresentou desempenho bastante satisfatório em comparação à cana. Os valores de digestibilidade aparente da torta de polpa de macaúba foram semelhantes ao da cana hidrolisada e melhores que o da cana in natura (BRANDÃO, 2013; VIEIRA, CAMILLO, CORADIN, 2016). A inclusão de até 15% de torta de macaúba mostrou-se segura para alimentação de caprinos (BARRETO, 2008; VIEIRA, CAMILLO, CORADIN, 2016).

Apesar do apelo econômico e agrícola da macaúba, seus plantios comerciais ainda são incipientes devido, em parte, à falta de informações adequadas, como a relação à espécie com as condições edafoclimáticas. Para isso precisa avaliar se os componentes abióticos influenciam ou não a produtividade da macaúba, e examinar as implicações ecofisiológicas em relação às variáveis ambientais, e criar um zoneamento agroclimático para isso (RESENDE et al., 2020).

O endocarpo da macaúba pode ser utilizado na fabricação de carvão, por proporcionar altos teores de lignina, e com isso apresentam maior resistência à decomposição térmica, necessitando de temperaturas mais elevadas para se transformar em carvão e concentrar o carbono em suas estruturas, ou mesmo queimado diretamente. (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986; NASCIMENTO, 2019).

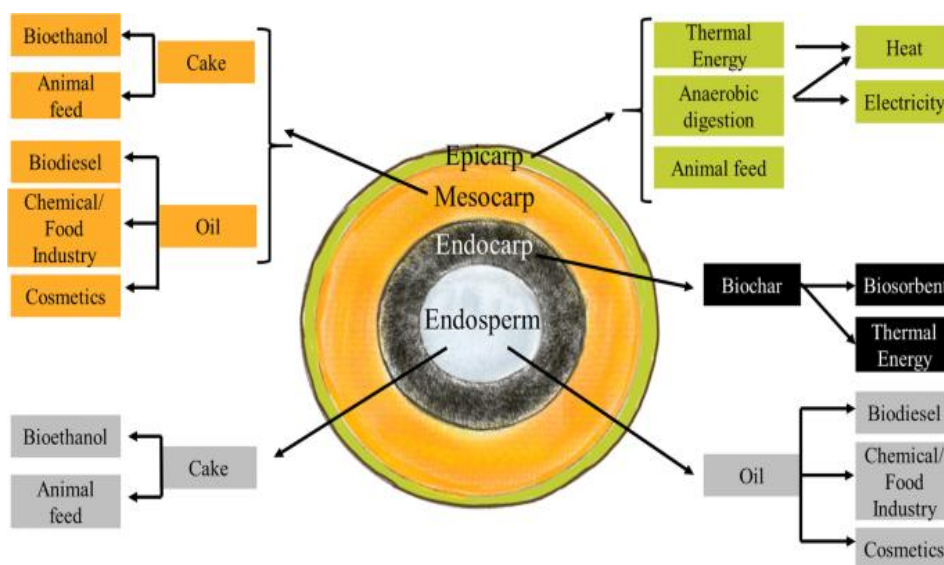
Contudo, observou-se que a palmeira macaúba nativa, alcança relativamente alta produtividade em óleo. Tem sido apontada como fonte alternativa promissora para a produção industrial de biodiesel, visto que, com manejo adequado da cultura e com coleta tecnicamente correta do fruto, a produtividade da macaúba pode chegar facilmente a 6 toneladas de óleo por hectare (BATISTA et al., 2019).

Os frutos apresentam elevados teores de óleo, tanto na polpa quanto na semente, podendo render até 4 mil litros de óleo ha/ano. Os óleos extraídos da polpa e da semente constituem potencial fonte para obtenção de biocombustível. Além da extração de óleos, a torta

obtida tanto da semente quanto da polpa, possui potencial como coproduto para a produção de bioetanol e/ou alimentação animal (VIEIRA; CAMILLO; CORADIN, 2016).

A Figura 5 mostra o desenho esquemático do fruto da macaúba e suas partes, relacionando-as aos principais produtos e coprodutos formados na cadeia produtiva e suas aplicações.

Figura 5. Representação do fruto da macaúba e dos principais produtos e coprodutos formados na cadeia produtiva e suas aplicações



Fonte: AMPESE et al. (2021)

À medida que aumenta o potencial da macaúba como fonte de energia, aumenta também a demanda por dados científicos que forneçam conhecimento sobre a planta e seus frutos, composição do óleo e propriedades físicas e mecânicas. Com esses dados, seria possível expandir a exploração extrativista para escala industrial com manejo racional e sustentável (OLIVEIRA et al., 2018).

Além disso, será possível aprimorar os processos industriais e projetar máquinas e equipamentos para uso nas operações de colheita e pós-colheita com base no conhecimento das propriedades físicas e mecânicas das estruturas que compõem os cachos. Dessa forma, o trabalho de campo para o operador ficará mais seguro, reduzindo o contingente de mão de obra e os custos de produção associados à extração (OLIVEIRA et al., 2018).

A macaúba (*Acrocomia* sp.) apresenta alta produtividade de óleo e está bem adaptada ao amplo clima brasileiro (TEXEIRA et al., 2017). Além da produção de óleo, os resíduos gerados durante o processamento da macaúba podem ser utilizados para a produção de coprodutos como biogás, bio-óleo, bioquerosene, etanol de segunda geração e biocombustíveis

sólidos para geração de eletricidade e vapor. Assim, essa diversificação na produção de outros produtos energéticos agrega valor à macaúba e contribui para a sustentabilidade do processo. (NAVARRO-DÍAZ et al., 2014; TEXEIRA et al., 2017).

No Brasil, o óleo de macaúba é produzido principalmente no estado de Minas Gerais. O sistema de produção da macaúba é baseado no extrativismo, e os frutos são coletados do solo, então a degradação dos frutos são aceleradas por microrganismos do solo. Após a colheita, os frutos geralmente são armazenados em ambientes não controlados e podem ser afetados pela exposição à luz e umidade (TEXEIRA et al., 2017).

A macaúba pode produzir em torno de 6,2 kg de óleo por hectare, sendo extraído da matéria-prima que está presente principalmente em sua polpa e semente/amêndoa (RESENDE et al., 2020). O óleo de macaúba pode ser extraído de sua amêndoa e de sua polpa, o teor de óleo na polpa da macaúba varia de 40 a 70 %, já na amêndoa em torno de 50 % de óleo. Normalmente o óleo da semente da macaúba por ser mais nobre que o advindo de sua polpa, sendo utilizado em indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosmética, enquanto que o da polpa pode ser utilizado na produção de biocombustíveis (NAVARRO-DÍAZ et al., 2014; CALERA, 2018). O óleo da polpa da macaúba não é comestível, logo, não interfere na indústria de alimentos, tornando-se uma boa opção de matéria-prima, visto que um dos maiores obstáculos para a produção do biodiesel através de óleos vegetais é devido a competição entre produzir alimentos ou energia (CALERA, 2018).

Ao processar frutos de macaúba para obter o óleo, vários resíduos são gerados em grandes quantidades: casca (epicarpo), bolo de polpa (mesocarpo), endocarpo e bolo de semente. Esses biomateriais de resíduos também podem ser usados como fontes para diferentes biocombustíveis, agregando valor e transformando a palmeira em uma colheita verdadeiramente sustentável e rentável (EVARISTO et al., 2016).

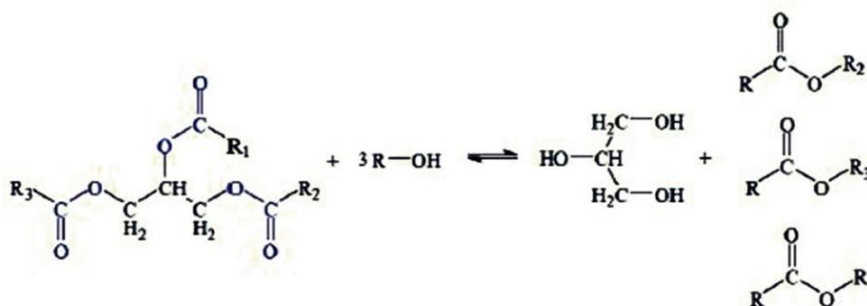
O biodiesel pode ser produzido por transesterificação de óleos brutos da macaúba. No entanto, alguns aspectos devem ser apontados antes do início da produção industrial. Esses aspectos estão relacionados com as propriedades dos óleos, o mais crítico é o valor do ácido (CÉSAR et al., 2015).

O valor do ácido está diretamente ligado à presença de gordura livre nos ácidos na amostra de óleo. Altas concentrações de chumbo de ácidos graxos livres à formação de sabão durante a hidrólise alcalina chamada saponificação. A formação de sabão aumenta a emulsificação dos produtos; aumenta a solubilidade dos ésteres formados em glicerol e assim inibe sua separação. Além disso, há um consumo do catalisador, o que requer sua substituição aumentando o custo do processo (CÉSAR et al., 2015).

O óleo vegetal é submetido a uma reação química denominada reação de transesterificação, onde o óleo ou a gordura, constituído basicamente por triacilgliceróis, reage com um álcool (metanol, etanol ou outro álcool de cadeia curta), na presença de um catalisador (ácido ou alcalino) gerando biodiesel (ésteres alquílicos) e glicerol, conforme representada na Figura 6.

Devido à reação ser reversível, um excesso de álcool é usado com o intuito de deslocar o equilíbrio para a formação dos produtos. As condições para que isso ocorra envolve a relação entre o tempo e a temperatura na qual a reação se torna completa, sendo este o parâmetro mais crítico na obtenção do biodiesel (DOMINGUES-NETO et al., 2018).

Figura 6. Reação de transesterificação para a obtenção de biodiesel



Fonte: Gerpen (2005)

No trabalho Silva et al. (2016), o biodiesel etílico da macaúba ofereceu vantagens em termos de desempenho a frio quando comparado ao álcool convencional (metanol) e apresentou ganhos de lubricidade. Seu teor de éster, acidez, densidade, viscosidade cinemática, teor de enxofre e estabilidade oxidativa estavam em conformidade com os requisitos de padrões internacionais.

A macaúba tem grande potencial também como a matéria primária gerada por resíduos obtidos durante o processamento dos frutos para extração de óleo para a bioenergia. O desenvolvimento e o aprimoramento das práticas agrônômicas, melhorariam substancialmente a eficiência dessa espécie (EVARISTO et al., 2016).

Em relação ao potencial de produtivo de óleo e biomassa (endocarpo e torta), no trabalho de Junqueira et al. (2019) avaliaram as palmeiras da região de cerrado, onde atingiram valores de até 6,9 t/ha de óleo de polpa, 1,2 t/ha de óleo de amêndoa, 19,3 t/ha de endocarpo (matéria-prima para o carvão) e 24,5 t/ha de resíduo da polpa e amêndoa (torta, matéria-prima para ração ou farelo). E a região que apresentou os maiores valores para os componentes avaliados dentre as plantas selecionadas foi a região do Alto Paranaíba, MG.

3.4 Estoque de carbono e a palmeira macaúba

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) configura-se em uma das consequências da rápida transformação antrópica que o Cerrado está sofrendo. Dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) representam alguns dos principais GEE's relacionados às atividades agrícolas e às mudanças de uso do solo, os quais são responsáveis pelo redirecionamento da radiação infravermelha em excesso na superfície terrestre (BESEN et al., 2018; XAVIER, 2018).

De acordo com o Segundo Relatório de Atualização Bienal, no Brasil mais de 80% das emissões de N_2O e 74% das emissões de CH_4 advêm da atividade agropecuária, enquanto 40% da emissão de CO_2 são ocasionadas pelas mudanças do uso da terra (XAVIER, 2019).

Com a crescente busca por alternativas capazes de reduzir as emissões de CO_2 na atmosfera e suas consequentes alterações no meio, houve uma intensificação na busca por informações sobre biomassa e conteúdo de carbono em florestas, uma vez que as florestas atuam como sumidouros, absorvendo CO_2 da atmosfera e armazenando-o em sua biomassa (PACHECO, HELENE, 1990, XAVIER, 2019).

Já nos solos, possuem grande importância no ciclo biogeoquímico do carbono. Esse compartimento armazena aproximadamente quatro vezes mais carbono que a biomassa vegetal e mais que três vezes do que a atmosfera. O CO_2 do solo é proveniente de restos de animais e vegetais em vários estágios de decomposição, materiais carbonizados e compostos humificados. (OLIVEIRA; BRAGA; ROIG, 2015).

Os mais diversos estudos apresentados demonstram que muitas variáveis podem controlar os estoques de C no solo. Em escala regional, as variáveis climáticas, como temperatura e precipitação pluvial, exercem grande importância. Na esfera local, as propriedades do solo, como densidade e fertilidade natural, ganham destaque (ASSAD et al., 2013; BRITO et al., 2018).

O estoque de carbono orgânico do solo (EC) está relacionado com o modo de uso da terra e das práticas agrícolas adotadas. Desse modo, numa área de vegetação nativa, o teor de C é estável e pouco varia ao longo do tempo; sistemas conservacionistas de produção agrícola, como plantio direto, reflorestamento e sistemas agroflorestais, tendem a armazenar mais C, pelo grande aporte de material orgânico acumulado na superfície e ainda contribuem positivamente nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Por outro lado, quando há cultivo intenso do solo, com sistemas convencionais de preparo, uso intensivo de mecanização e

queimadas, o solo torna-se emissor de C, contribuindo com o aumento do efeito estufa (CIDIN, 2016).

Existem estudos a respeito da relação entre o manejo de terras agrícolas e o armazenamento de carbono pelo solo e, em particular, o mecanismo de influência das mudanças no uso / cobertura da terra no balanço de carbono terrestre. Essa pesquisa encorajou a consideração das emissões de carbono em sistemas de planejamento de terras e a exploração de estratégias de gestão de terras com base em uma economia de baixo carbono para alcançar a redução das emissões de carbono e o planejamento do uso da terra sustentável (WU et al., 2017).

Algumas palmeiras tropicais de interesse comercial podem também contribuir com o sequestro de carbono, como é o caso da macaúba (*Acrocomia aculeata* Jacq.). Essa planta produz frutos com alto teor de óleo, que podem ser utilizados como matéria-prima para indústrias de diversos setores, como alimentício, cosméticos e higiene pessoal e energia – biodiesel e bioquerosene (DIAS et al., 2011; MOREIRA, 2019)

O Brasil é o país de maior ocorrência natural da palmeira macaúba, e muitos são os benefícios ambientais potenciais com o seu plantio, principalmente em termos de recuperação de áreas degradadas e sequestro de carbono (MOTA et al., 2011; MOREIRA, 2019). Como apenas os frutos da palmeira são removidos da área de plantio para uso na indústria, o carbono fixado nas diferentes estruturas vegetais (raízes, estipe e folhas) permanece estocado, sugerindo que o acúmulo de carbono por essas palmeiras seja maior do que culturas agrícolas que são colhidas anualmente ou de outras espécies 10 arbóreas que são colhidas com maior regularidade por remoção total ou de grande parte de sua biomassa total (TOLÊDO, 2010; MOREIRA, 2019).

Para a quantificação do estoque de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação (serrapilheira, galhos, troncos, folhas, raízes, etc.) é necessário conhecer a biomassa de cada um desses componentes (SALOMÃO et al., 1996; MOREIRA, 2019). A biomassa é a quantificação da matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal, que pode ser expressa em massa fresca ou massa seca (CALDEIRA, 2003).

Dois métodos de quantificação da biomassa vegetal predominam na literatura. O método direto (destrutivo), considerado como padrão, consiste no abate da planta e obtenção da massa total dos seus diferentes compartimentos. Por suas características é considerado um método trabalhoso e demorado. O método indireto (não destrutivo) proporciona estimativas mais rápidas, sem necessidade de abate de plantas para sua aplicação, consistindo do uso de equações alométricas que correlacionam a biomassa vegetal com uma ou mais variáveis de fácil obtenção no campo (HIGUCHI; CARVALHO, 1994; RATUCHNE et al., 2016).

Os modelos utilizados para descrever o relacionamento entre biomassa e as variáveis independentes da planta são originados dos modelos para volume de madeira (HIGUCHI et al., 1998). Estes modelos têm produzido resultados satisfatórios, com coeficiente de determinação (r^2) sempre superior a 0,95. As variáveis independentes mais utilizadas são diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (WOORTMANN; SANTOS; SILVA, 2018).

Dentre todos os modelos, algumas equações são utilizadas para calcular o estoque de carbono quando envolve espécies arbóreas ou arbustivas que possuem o componente lenhoso pouco denso. Nesse caso especificamente para cálculo do estoque de carbono em espécies de palmeiras, bananeiras, mamão e jaracatiá, que pertencem às famílias botânicas Arecaceae, Musaceae e Caricaceae, respectivamente (NASCIMENTO, 2016).

A alocação de carbono desempenha um papel fundamental no ciclo do carbono em ecossistemas naturais e agrossistemas, distribuindo os produtos da fotossíntese entre os órgãos da planta envolvidos na aquisição de recursos para seu crescimento, manutenção e reprodução. As mudanças na alocação de carbono afetam o crescimento individual das plantas e também sua biogeoquímica, no sequestro de carbono e nitrogênio e nas trocas de energia, água e carbono entre a vegetação e atmosfera (MOTOIKE; HILGER, 2024).

Trabalhos recentes têm comprovado o potencial da palmeira macaúba em estocar carbono em sua biomassa (FERREIRA et al., 2013). No trabalho de Moreira (2020), ele cita que macaúbas cultivadas em campo para um stand de 400 plantas em 9 anos o estoque carbono na biomassa acima e abaixo do solo chega a 226,17 t CO₂e.ha⁻¹. E que o maior acúmulo de biomassa e carbono em plantas de macaúbas cultivadas no campo está presente acima do solo.

O fato de o cultivo de macaúba apresentar potencial para superar o armazenamento de C na biomassa em áreas de pastagens e na vegetação nativa de Cerrado pode ser um referencial interessante para iniciativas de recuperação de áreas degradadas neste importante bioma brasileiro. Neste sentido, a macaúba torna-se um interessante componente para sistemas integrados de produção que combinem pastagem e palmeiras, (MONTROYA, 2016; MOREIRA, 2020).

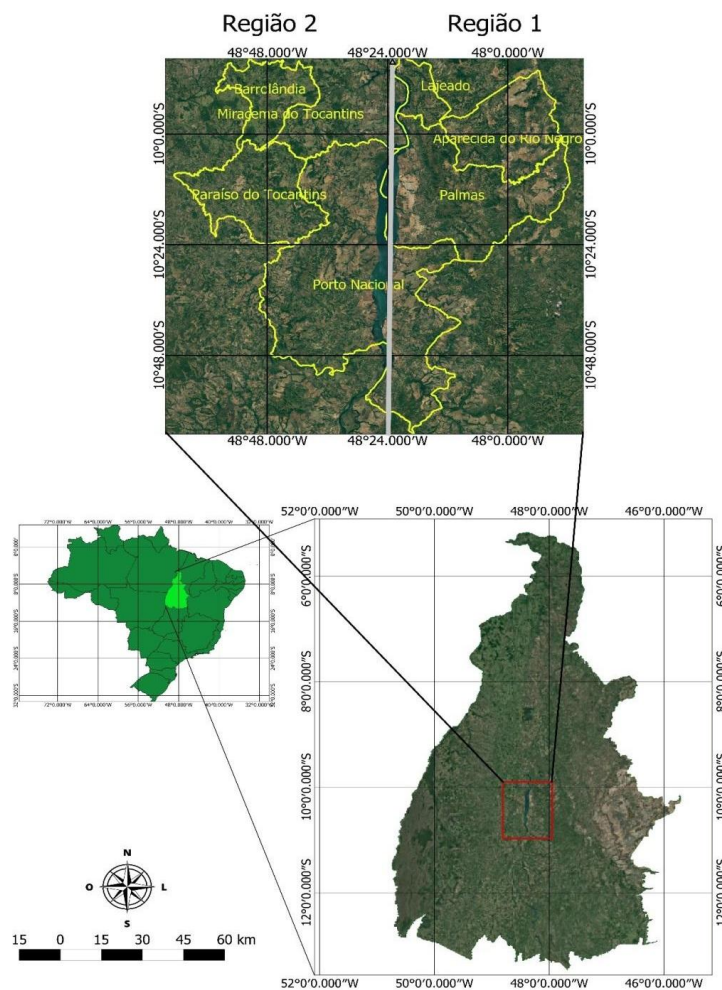
No trabalho de Brito et al. (2018), onde avaliaram estoques de carbono e crédito de carbono do solo sob diferentes sistemas de exploração no cerrado, apresentaram resultados para estoque de carbono onde em áreas de pastagem degradada e horta tiveram melhores resultados. Os dados encontrados foram: em área cultivada com batata doce 25,68 (Mg ha⁻¹), em área com horta agroecológica 34,41 (Mg ha⁻¹), e em área com pastagem degradada 39,05 (Mg ha⁻¹), permitindo a remuneração de US\$ 592,43, US\$ 793,83 e US\$ 900,88.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida refere-se à região central do estado do Tocantins, localizada nas Latitudes $9^{\circ} 40' 06''$ S, na porção norte e $11^{\circ} 20' 69''$ S, na parte sul e nas Longitudes $47^{\circ} 41' 46''$ W, na parte leste e $48^{\circ} 50' 33''$ W, na porção oeste da região, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Região central do estado do Tocantins (Área de estudo), mostrando as duas regiões e seus respectivos municípios.



Fonte: Próprio autor (2024).

A região central foi dividida em Região 1 e Região 2, compreendendo os municípios mais próximos ao reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães.

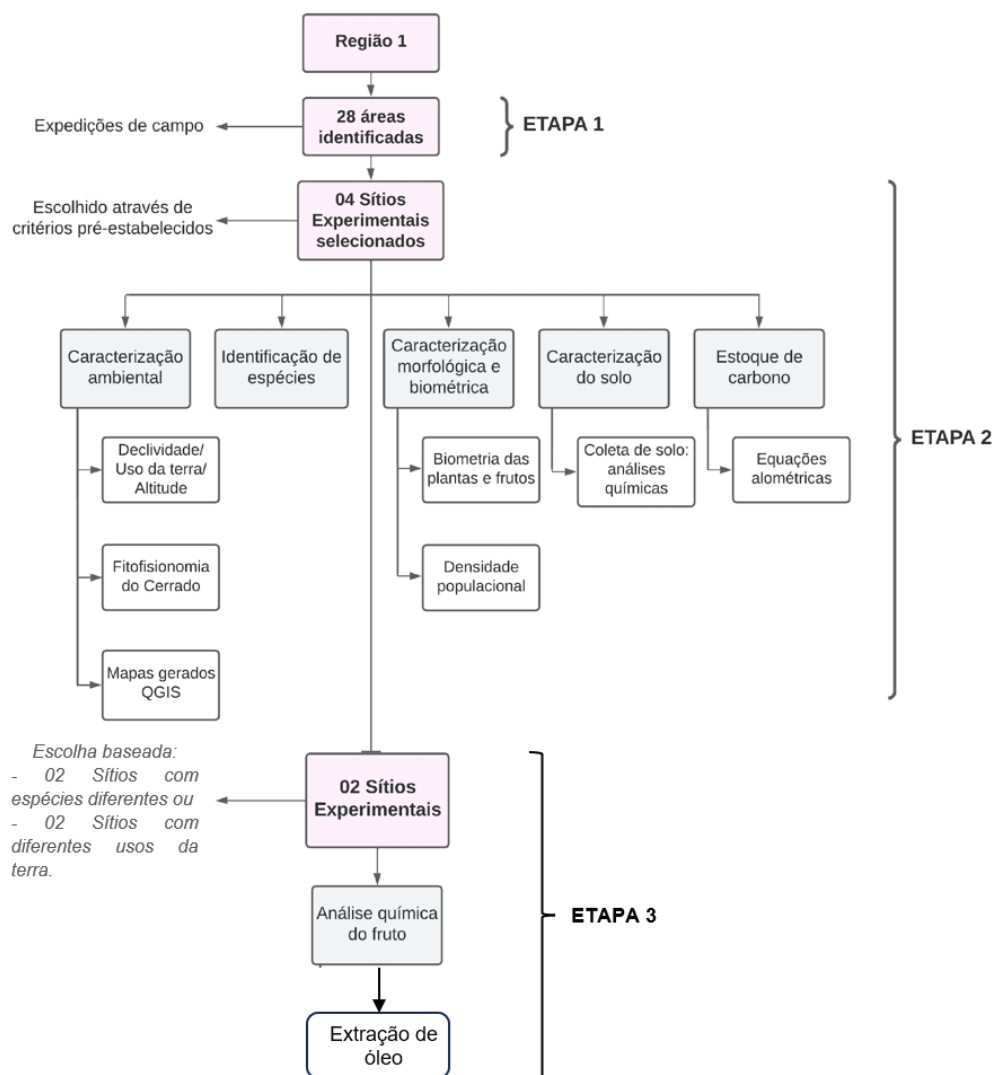
A divisão desta região em duas regiões, correspondem às etapas para realizar o levantamento de campo, para a identificação de áreas com populações naturais de macaúba.

A Região 1 é composta por quatro municípios, Lajeado, Palmas, Aparecida do Rio Negro e Porto Nacional, e a Região 2 também apresenta quatro municípios, Miracema do Tocantins, Barrolândia, Paraíso do Tocantins e Porto Nacional (Figura 7).

Para a realização do presente estudo, o levantamento de campo ocorreu apenas na Região 1. Numa segunda etapa, o levantamento de campo acontecerá nos municípios localizados na Região 2.

A Figura 8, apresenta de forma resumida, as etapas implementadas neste estudo.

Figura 8 – Resumo das etapas executadas no presente trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

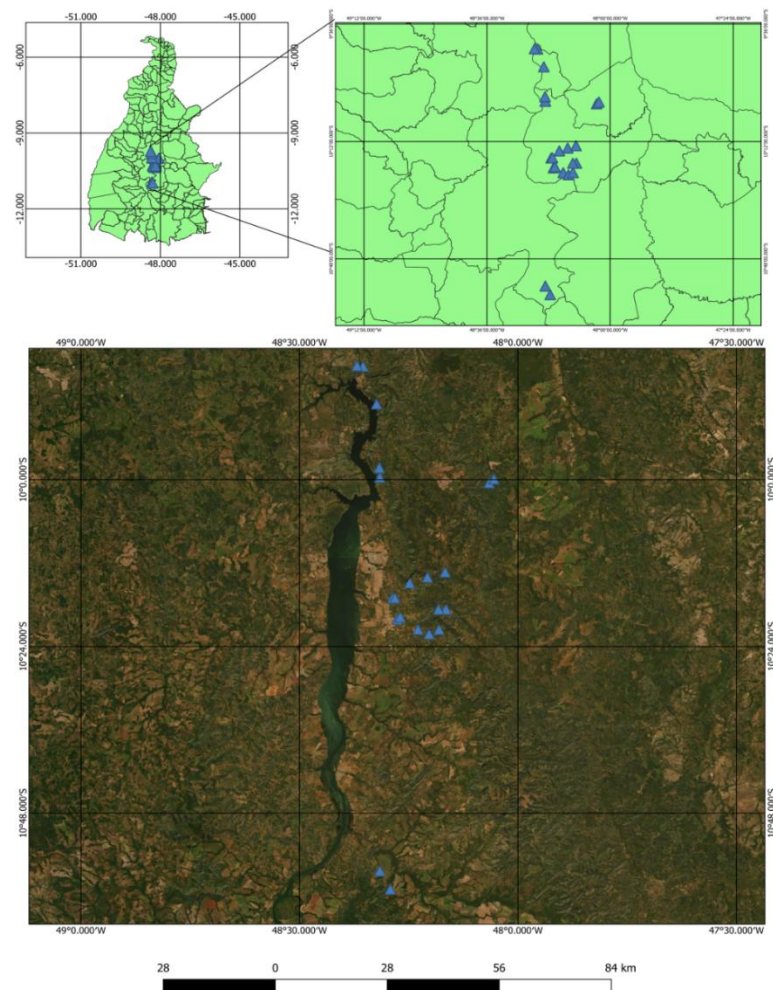
Com base na Figura 8, a seguir, estão descritas as etapas executadas neste trabalho.

Etapa 1

4.2 Levantamento das áreas identificadas com populações naturais de macaúba na região central

No período de 09 de dezembro de 2020 a 07 de fevereiro de 2021, foram realizadas expedições em todos os municípios e distritos da Região 1, onde foram identificadas 28 áreas com ocorrência natural de macaúba (Figura 9).

Figura 9 – Projeção da região central do Estado, mostrando as áreas identificadas com ocorrências de populações de macaúba (pontos) na Região 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nessa primeira fase, as incursões de campo foram realizadas com a finalidade de identificar áreas com ocorrência de populações naturais de macaúba e caracterizar de forma geral o ambiente. Nessas áreas foram obtidos os seguintes dados: coordenadas geográficas, altitude, caracterização ambiental geral da área, relevo, tipo de vegetação nativa, relato da ocorrência de palmeiras de macaúba, tipo de uso da terra, município, assim como distrito e registro fotográfico, conforme apresentado no Quadro 01-A no Apêndice.

Etapa 2

4.3 As áreas para caracterização ambiental, medições de atributos pedológicos e morfológicos das plantas de macaúba

Após as expedições para a identificação de áreas potenciais, foram estabelecidos critérios específicos para a seleção das áreas experimentais, com o intuito de obter dados mais aprofundados para estudos com fins energéticos. A seleção dos sítios experimentais foi baseada em critérios de representatividade regional, diferentes altitudes e tipo do uso do solo, sendo requisito fundamental que a população de macaúba fosse de ocorrência natural, com densidade populacional mínima de 50 plantas adultas por área.

A partir das 28 áreas previamente identificadas com potencial de estudos, no período de setembro de 2021 a maio de 2022, foram selecionados quatro sítios experimentais distribuídos em três municípios: Palmas (Sítios A e B), Lajeado (Sítio C) e Aparecida do Rio Negro (Sítio D). A Tabela 1 mostra a localização, altitude e as coordenadas geográficas dos sítios experimentais.

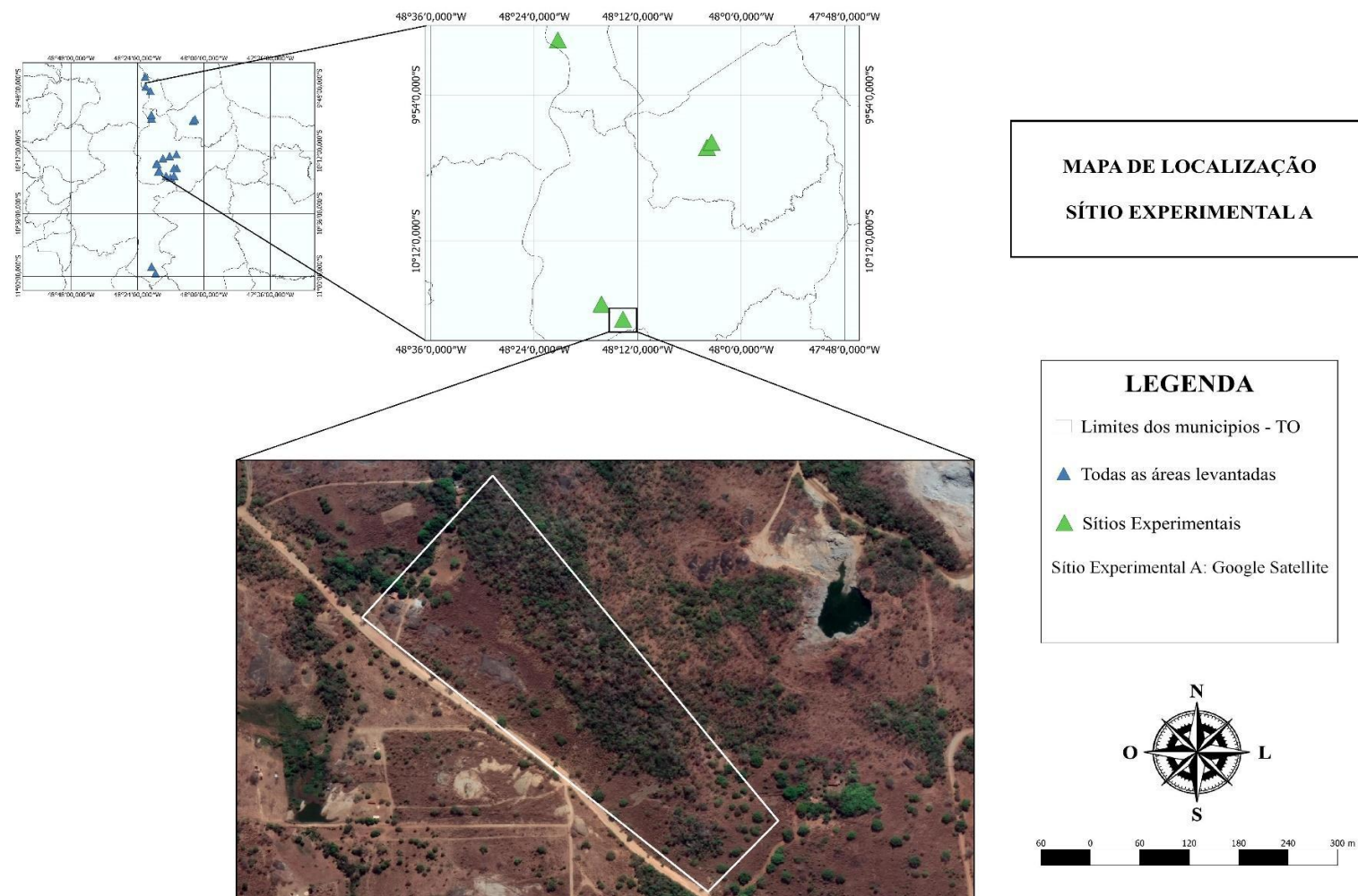
Quadro 1 – Áreas estudadas com base nos critérios estabelecidos

Sítios experimentais	Município /Distrito	Altitude (m)	Coordenadas Geográficas	
A Assentamento São João	Palmas	290	10°21'44" S	48°13'30" W
B Setor Jardim Laila	Palmas /Taquaralto	240	10°19'43" S	48°16'06" W
C Rodovia TO 010, km 52	Lajeado	230	9°47'15"S	48°21'16"W
D Rodovia TO 020, km 55	Aparecida do Rio Negro	390	10°00'27"S	48°03'57" W

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

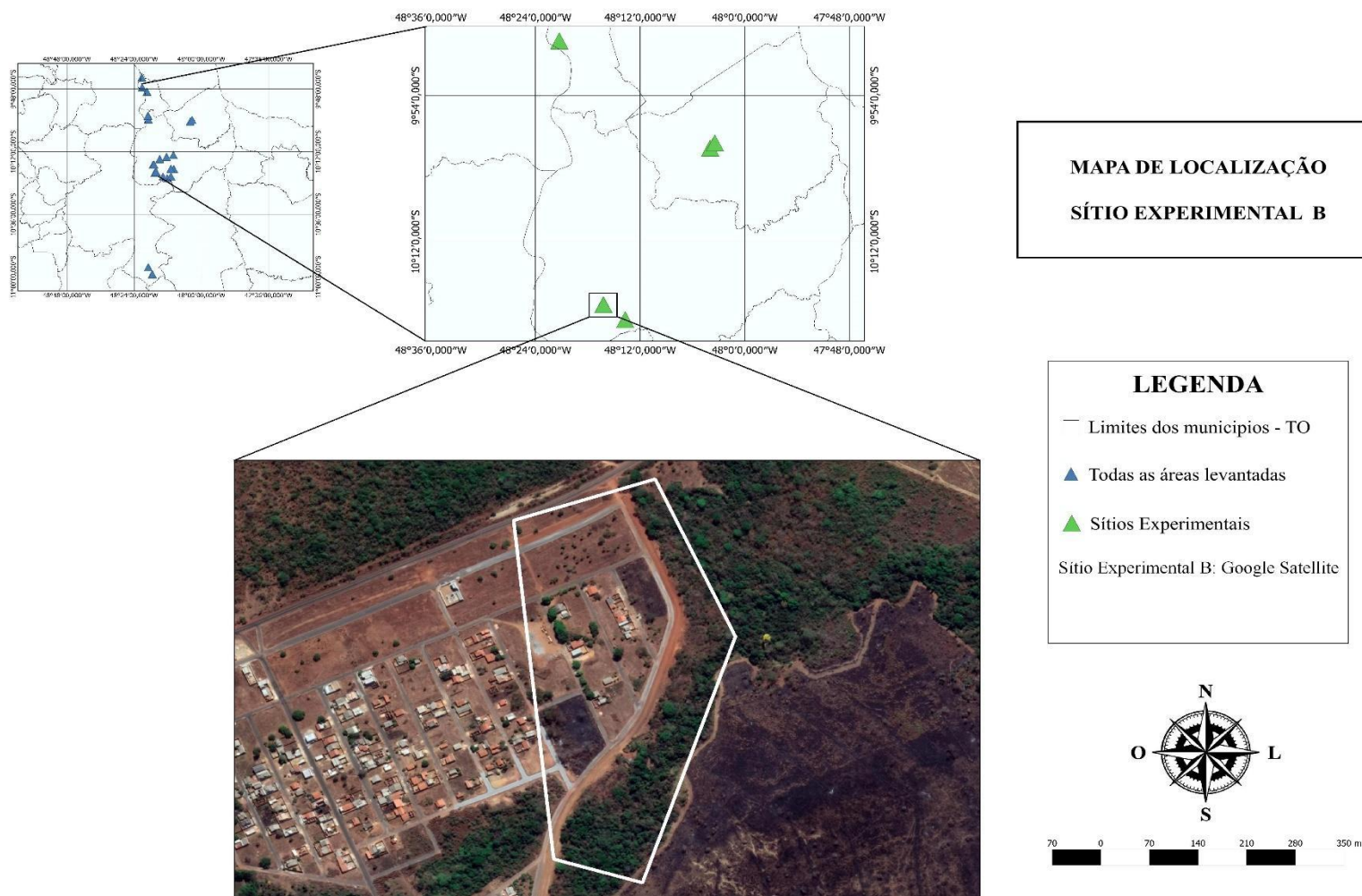
As Figuras 10 a 13 apresentam a localização e características visuais dos sítios experimentais relevantes.

Figura 10. Sítio Experimental A - Assentamento São João, município de Palmas, próximo ao aterro sanitário e a mineradora.



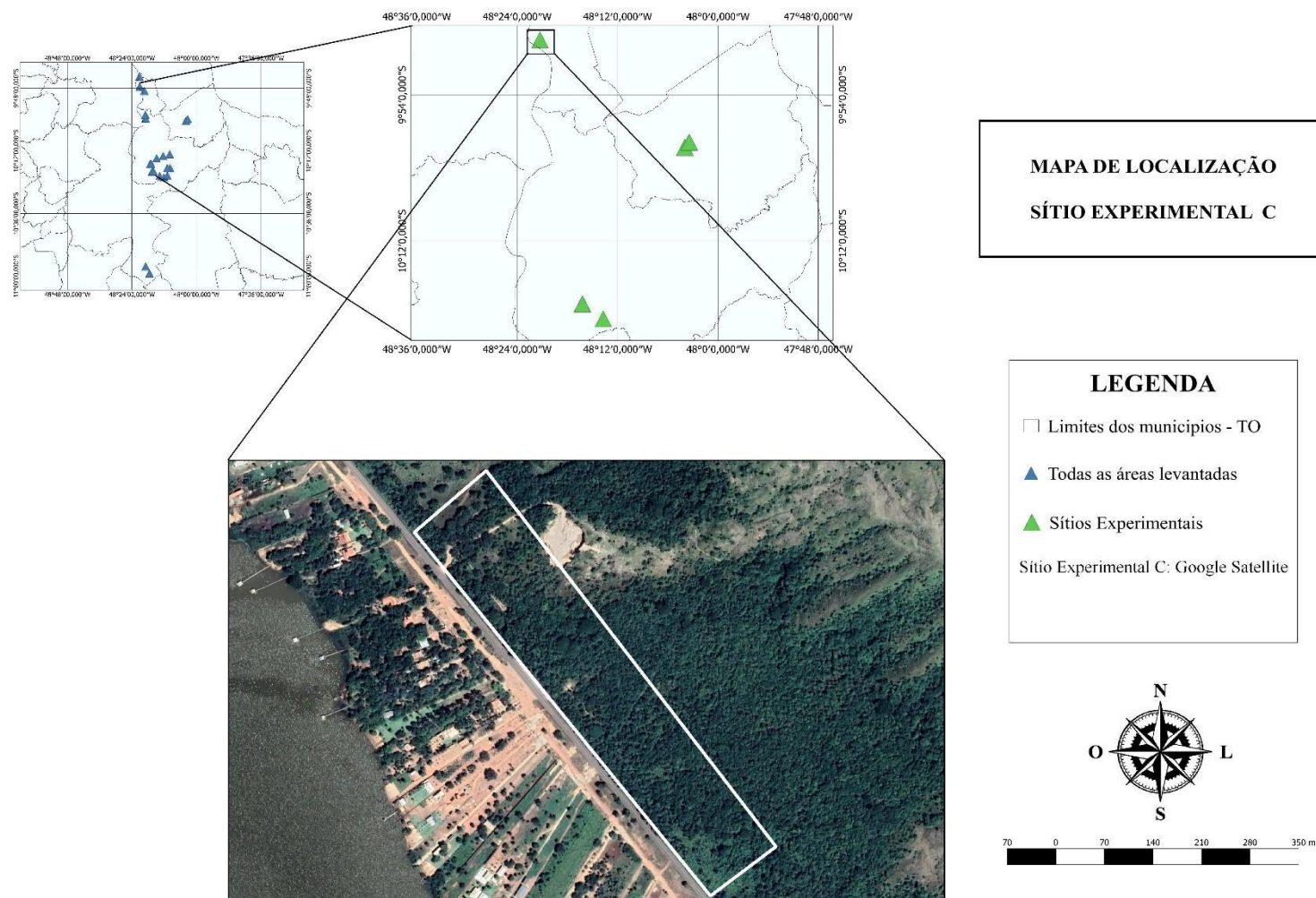
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 11. Sítio Experimental B - Setor Jardim Laila – Distrito de Taquaralto/Palmas. Próximo à rodovia saída para Taquaruçu.



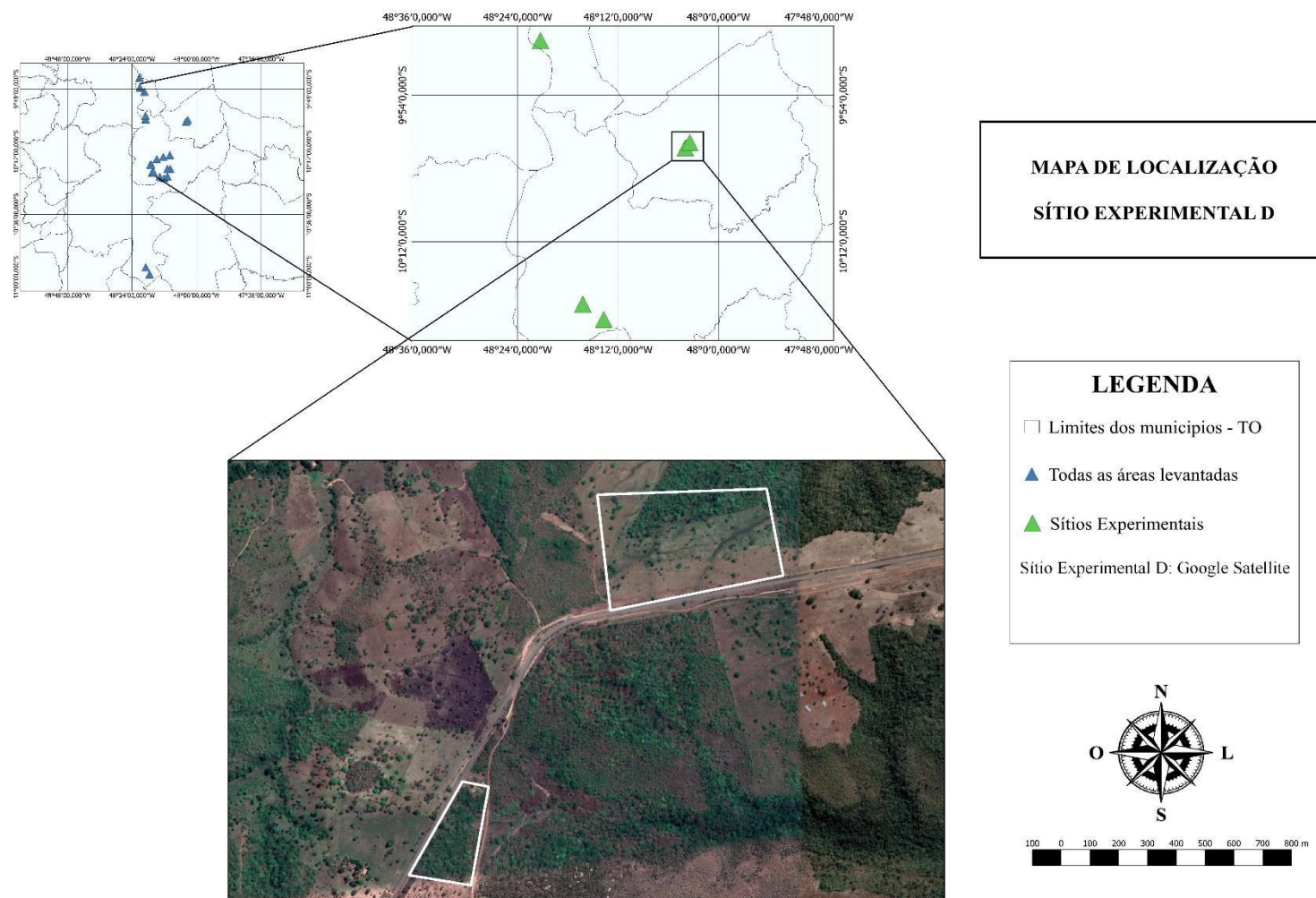
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 12. Sítio Experimental C - Rodovia TO 010 km 58 - Lajeado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 13. Sítio Experimental D - Unidade A e B. Rodovia TO 020, km 55 – Aparecida do Rio Negro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ressalta-se que no Sítio Experimental D, foram escolhidas duas subáreas para atender os critérios estabelecidos no estudo.

Em cada sítio experimental foram realizados estudos estruturados referentes: a) Caracterização ambiental; b) Caracterização morfológica e biométrica da população de macaúba; c) Caracterização do solo; d) Estoque de carbono e e) Identificação botânica (Figura 08).

4.3.1 Caracterização ambiental dos sítios experimentais

Para a caracterização ambiental dos sítios experimentais, foram escolhidos pontos específicos com base na distribuição das populações de macaúba. Quatro pontos geográficos foram marcados em cada sítio experimental utilizando dispositivos GPS, garantindo uma captura de regiões geográficas exatas. Esses pontos foram usados para calcular o tamanho total das áreas de estudo em hectares, sendo importante a padronização na coleta de dados GPS para garantir a precisão.

As coordenadas coletadas no campo foram importadas para o QGIS. O mapeamento das áreas foi realizado utilizando dados estatísticos de referência da SEPLAN-TO (2012), IBGE e MMA, fornecendo uma base confiável para as análises subsequentes. A partir da base cartográfica disponível em formato shapefile do IBGE, foram gerados mapas temáticos para visualização das características ambientais. As camadas temáticas incluíram:

- Pedologia: Utilizando as cartas de solos da Embrapa (SANTOS, 2019) para identificar os diferentes tipos de solos presentes em cada sítio experimental.
- Declividade: A análise da declividade foi feita diretamente no QGIS, calculando a variação de altitude entre os pontos de interesse.
- Altimetria: A altimetria foi mapeada a partir de dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) ALOS Palsar, obtidos da NASA com resolução espacial de 12,5 metros, permitindo uma análise detalhada do relevo.
- Fitofisionomia do Cerrado: A vegetação foi diversificada conforme as fitofisionomias típicas do Cerrado, cruzando informações de sensoriamento remoto com observações de campo.

As características ambientais foram descritas *in loco*, incluindo a observação detalhada da relevância, vegetação predominante, e o uso da terra nas áreas estudadas. Foi dada especial atenção às áreas de ocorrência de macaúba, tanto em vegetação natural quanto em áreas antropizadas. A fitofisionomia e Uso do Solo dos sítios foram caracterizadas de acordo com o

uso atual do solo, diferenciando entre agricultura, pastagem ou vegetação nativa, além de áreas impactadas por atividades humanas. A classificação de solos foi realizada com base nas cartas de solos da Embrapa, fornecendo uma visão clara das aulas de solo apresentadas e suas implicações para o desenvolvimento de culturas, como a macaúba.

4.3.2 Caracterização morfológica e biométrica das populações de macaúba

O levantamento populacional das plantas de macaúba em cada área foi realizado por meio de um censo completo, contabilizando o número de indivíduos adultos e jovens, além da quantificação de cachos de frutos e inflorescências. Foram registradas medidas morfométricas, como densidade, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e do estipe. A altura das palmeiras foi estimada utilizando o aplicativo Measure Height, que se baseia em equações trigonométricas para determinar a altura dos indivíduos a partir de uma distância conhecida entre o observador e a planta

O aplicativo Measure Height para dispositivos Android (OÜ, 2014) calcula a altura de árvores ou palmeiras com base em princípios trigonométricos, inserindo a altura do observador e a distância da palmeira medida com fita métrica, e então mirando o topo da palmeira com o celular. Estudos anteriores validaram a precisão do aplicativo, mostrando sua comparabilidade com hipsômetros tradicionais (BRITO NETO, BARRETO, PRADO, 2016; OLIVEIRA, 2018).

Para a análise estatística, foram selecionadas 20 palmeiras de cada sítio, totalizando 80 indivíduos para a análise de distribuição de frequência das características morfométricas (altura, diâmetro e presença de espinhos). Os dados foram submetidos a uma análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR para calcular as medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação).

4.3.2.1 Biometria e caracterização morfológica dos frutos

Os frutos foram coletados do chão, ensacados e identificados de acordo com sua respectiva matriz. Para a realização da caracterização em laboratório, foram coletados 5 frutos por planta de 5 palmeiras de cada Sítio. Foram avaliados: comprimento e diâmetro do fruto (mm), peso: do fruto (g), casca (epicarpo), polpa (mesocarpo), endocarpo e amêndoa (endosperma), onde foram mensurados com auxílio de um paquímetro e pesados em uma balança semianalítica. Para realização das análises do peso as amostras de frutos foram despulpadas manualmente e pesados cada parte. Os dados foram submetidos a uma análise de

variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR para calcular as medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação).

4.3.3 Identificação botânica

A identificação botânica de espécie de macaúba foi realizada conforme a metodologia aplicada no Herbário HUTO – Universidade Estadual do Tocantins, UNITINS. Em cada sítio experimental foi coletado amostras de 02 palmeiras e levadas para Herbário para identificação correta da espécie e depois depositado no mesmo.

Essa metodologia se baseia na coleta de partes da planta em fase reprodutiva, ou seja, com flores e/ou frutos, e lavadas ao herbário para herborização das coletas e receber número tombo. Além das coletas botânicas, foi preenchida uma ficha de campo para compor a etiqueta, que é fixada no material herborizado. Esses dados preenchidos são: altura da palmeira, altura da estirpe e o diâmetro, tamanho da folha, características da inflorescência e frutos, presença ou não de espinho, informações do relevo, coordenadas geográficas de cada coleta.

Após o depósito das espécies coletadas (material herborizado) no Herbário HUTO-UNITINS, as mesmas foram encaminhadas para especialista confirmar/identificar a espécie por definitivo. Esse envio foi pelos correios através do Herbário HUTO da Unitins para o Herbário que tem trabalhos mais específicos com palmeiras, no caso o Herbário IAC, onde o material foi avaliado e retornado a identificação dos materiais enviados.

4.3.4 Caracterização do solo

Em cada sítio experimental foi feita a coleta de solo, onde as respectivas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da UNITINS-AGRO, onde realizou as análises químicas e físicas.

4.3.4.1 Amostragem e preparação das amostras de solos

A coleta de amostras de solo foi realizada em cada sítio experimental, seguindo a metodologia descrita no Manual Técnico de Pedologia – IBGE (2015). Amostras simples foram retiradas de pontos diferentes, em ziguezague, e misturadas para formar uma amostra composta. As amostras foram coletadas em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), com um total de 16 amostras por área de estudo. As análises químicas e físicas das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Solos da UNITINS AGRO.

Os resultados das análises foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade, e posteriormente analisados estatisticamente com o software SISVAR.

Os teores de nutrientes foram classificados de acordo com os limites propostos pela Embrapa para diferentes classes texturais de solo (SOBRAL et al., 2015), que são valores geralmente aplicados a áreas de plantio. No entanto, esses mesmos limiares foram utilizados neste estudo para realizar comparações com áreas nativas e outras áreas investigadas, permitindo uma análise consistente entre diferentes tipos de uso e manejo do solo. Esses limiares estão descritos a seguir:

Tabela 1. Faixas para interpretação do teor de fósforo (P) no solo em função do teor de argila.

Argila (g kg ⁻¹)	Classe textural	Baixo	Médio	Adequado
----- mg dm ⁻³ -----				
<150	Arenosa	0- 10	10,1 – 20	>20
150 - 350	Média	0 - 7	7,1 - 15	>15
>350 - <600	Argilosa	0 - 4	4,1 - 8	>8

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base em Sobral et al. (2015).

Tabela 2. Valores baixos, médios e altos que são utilizados para interpretar resultados de análise de solo.

Parâmetros	Baixo	Médio	Alto
Matéria orgânica dag kg ⁻¹	<1,5	1,5 – 3,0	>3,0
pH	<5,0	5,0 – 6,0	> 6,0
Al cmol _c dm ⁻³	<0,5	0,5 – 1,0	> 1,0
Ca cmol _c dm ⁻³	<1,6	1,6 – 3,0	>3,0
Mg cmol _c dm ⁻³	<0,4	0,4 – 1,0	>1,0
K mg dm ⁻³	<30	30 - 60	>60

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base em Sobral et al. (2015).

4.3.5 Estimativa de estoque de carbono

Para estimar o acúmulo de carbono em palmeira macaúba foi utilizado equação alométrica ajustada no trabalho de Moreira et al. (2025), onde esse modelo foi desenvolvido para estimar carbono de palmeiras macaúba. A equação segue ajustado na função que envolve a altura total da palmeira.

Equação: $\hat{y} = 0,127580 x^{3,078920}$

Onde:

$\hat{y}$: Estoque de Carbono

x : Altura da planta

O estoque de carbono na biomassa das macaúbas por hectare foi obtido pela multiplicação do acúmulo de carbono e o stand de plantas (plantas/ha) (MOREIRA, 2019).

Para a conversão do estoque de carbono (Cest) em CO₂ equivalente por hectare (CO₂e.ha⁻¹), que é necessária para possíveis negociações de créditos de carbono no mercado internacional, considerou-se a massa atômica do carbono (12 g/mol) e CO₂ (44 g/mol), bem como o potencial de aquecimento global (Global Warming Potencial - GWP) do dióxido de carbono igual à 1 (IPCC, 2007), conforme a seguinte equação:

$$t \text{ CO}_2\text{e.ha}^{-1} = \text{Cest} \times (\text{Ma CO}_2/\text{Ma C}) * \text{GWP}$$

$$t \text{ CO}_2\text{e.ha}^{-1} = \text{Cest} * 3,667$$

Etapa 3

4.4 Extração de óleo dos frutos

Para a análise do potencial bioenergético através da extração de óleo (Etapa 3), foram selecionados dois dos quatro sítios experimentais previamente caracterizados (Sítios C e D). A escolha inicial previa duas possibilidades: comparar sítios com espécies de macaúba distintas ou, caso a espécie fosse a mesma, comparar sítios com diferentes usos do solo. Conforme detalhado na seção 5.4, a identificação botânica realizada por especialistas confirmou que todas as amostras coletadas nos quatro sítios pertencem à espécie *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Mart. Diante disso, o critério de seleção adotado foi comparar o teor de óleo entre populações da mesma espécie (*A. aculeata*) estabelecidas em condições de uso do solo distintas. Foi selecionado o Sítio C (Lajeado), caracterizado como ambiente de Cerrado Denso (vegetação nativa), e o Sítio D (Aparecida do Rio Negro), caracterizado como área de Pastagem Plantada (ambiente antropizado). Essa comparação visou investigar se diferentes condições de manejo e uso da terra influenciam o rendimento de óleo dos frutos da macaúba.

Para execução dessa metodologia, foram coletados frutos de 07 palmeiras de cada área escolhida, sendo que a coleta foi feita dos frutos caídos no chão, coletando num total de 2kg de frutos por palmeira. Esses frutos coletados, foram armazenados em sacos plásticos e etiquetados com as informações de data, local e palmeira. Em seguida, essas amostras foram levadas ao congelador até serem avaliadas e processadas. A preparação das amostras foi feita separando as partes dos frutos e colocando em bandejas de alumínio para prosseguir com demais metodologias.

4.4.1 Extração e quantificação de óleo do fruto da macaúba

A extração do óleo foi feita pelo método Bligh & Dyer, no Laboratório Lasor, da UFT, onde pesou 2,00 g da polpa e castanha. As amostras foram completamente moídas. E logo em seguida transferiu a amostra para o béquer de 100 ml e adicionou exatamente 10 ml de clorofórmio, 20 ml de metanol e tampou hermeticamente e colocou os Erlenmeyer num agitador rotativo, onde foi colocado amostras pra agitar por 30 min e outras amostras por 60 min.

Em seguida adicionou exatamente 8 ml de água destilada. Deixou separar as camadas de forma natural em funil de decantação. Logo após filtragem, foi descartado a camada superior e retirado cerca de 15 ml da camada inferior (clorofórmio) e colocado em outro becker de 50 ml. Colocou o béquer numa estufa a 80°C até evaporar o solvente (15-20 minutos). Após a secagem foi resfriado em dessecador e pesou em balança analítica.

$$\% \text{ lipídeos totais} = \frac{p \times 4}{g} \times 100$$

Onde:

p= peso dos lipídeos (g) contido em 5 ml

g= peso da amostra (g)

4.4.2 Análise estatística

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento fatorial com três fatores: Fator A: Local de Coleta, com dois níveis (1 - Aparecida, 2 - Lajeado); Fator B: Parte do Fruto, com dois níveis (1 - Mesocarpo, 2 - Endosperma); Fator C: Tempo de Extração, com dois níveis (1 - 30 minutos, 2 - 60 minutos). A variável resposta foi o percentual de óleo extraído (%). Para cada combinação de tratamentos (8 tratamentos), foram realizadas 7 repetições, totalizando 56 observações.

Foi realizado inicialmente, uma análise descritiva dos dados para obter as médias, variâncias, desvios-padrão e o erro padrão da média de cada tratamento. Esses parâmetros permitiram avaliar a dispersão e a tendência central das observações para cada combinação dos fatores estudados. Em seguida os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a fim de verificar o efeito significativo dos fatores principais (Local, Parte do Fruto e Tempo de Extração) e suas interações sobre a variável resposta (% de óleo). O teste F foi aplicado para verificar a significância dos efeitos a um nível de significância de 5%. Para a comparação das médias dos fatores principais, foi utilizado o teste de agrupamento de Scott & Knott a 5% de probabilidade. Toda a análise estatística foi realizada pelo AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos - FCAV - UNESP - Campus de Jaboticabal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos ambientes das populações – Sítios experimentais

Para cada Sítio experimental, através da coleta das coordenadas dos pontos das extremidades, foi realizado o cálculo da dimensão da mesma através do *software* QGIS, onde obteve seguintes dimensões: Sítio experimental A, tem dimensão de 10,11 ha; B tem 13,48 ha; C tem 8,98 ha e D tem 27 ha. A realização do censo se efetivou com a fixação de etiquetas com numerações através de arames liso, para facilitar a coleta de informações durante a realização do estudo (Figura 15). Foi realizado de 4 a 8 visitas a cada sítio para coletas de informações e materiais para prosseguimento do trabalho.

Figura 14. Etiqueta de identificação no estipe da palmeira (A) e Conferência da etiqueta na planta (B)



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Quanto às fitofisionomias, foram observadas populações de macaúba que estão inseridas desde regiões de afloramento rochoso, até regiões de mata galeria, que são formações do cerrado, sendo a vegetação predominante do Tocantins. Isso também foi relatado nos trabalhos de Berton et al. (2013) e de Moreira; Rezende; Pasa (2019), que ainda completaram relatando que isso mostra a capacidade adaptativa da palmeira macaúba nessas diferentes condições.

No trabalho de Assunção (2024) ele relatou que as macaúbas estão associadas a fitofisionomias mais fechadas do Cerrado, incluindo o Cerrado denso e o Cerradão, bem como pastagens localizadas em proximidade a corpos d'água e áreas de floresta secundária. No que

se refere ao relevo, é notável que as macaúbas são encontradas em diversas posições topográficas, com uma preferência particular por áreas de encostas.

Na Figura 16, observa-se que o IBGE (2012) adota a nomenclatura 'Savana' para se referir ao Cerrado. Essa designação foi escolhida por apresentar similaridades ecológicas com formações savânicas da Ásia e da África. A adoção do termo decorre de análises realizadas por especialistas e do levantamento promovido pelo Projeto RADAMBRASIL, entre 1973 e 1987, que resultou na obra *Fitogeografia Brasileira: Classificação Fisionômico-Ecológica da Vegetação Neotropical*.

O IBGE (2012) ainda complementa que a Savana está subdividida em quatro subgrupos de formação: Savana Florestada (Cerradão)- Sd; Savana Arborizada (Campo cerrado, Cerrado *stricto sensu*) - Sas e Saf; Savana Parque (Parque de cerrado) – Spd e Spf; Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo) – Sgs e Sgf. E essas regiões estão inseridas em subformações; com floresta-de-galeria e sem floresta-de-galeria, Agropecuárias (Ag), Agricultura (culturas cíclicas) (Acc), Pecuária (Ap), Reflorestamento (R), Áreas urbanas (lu).

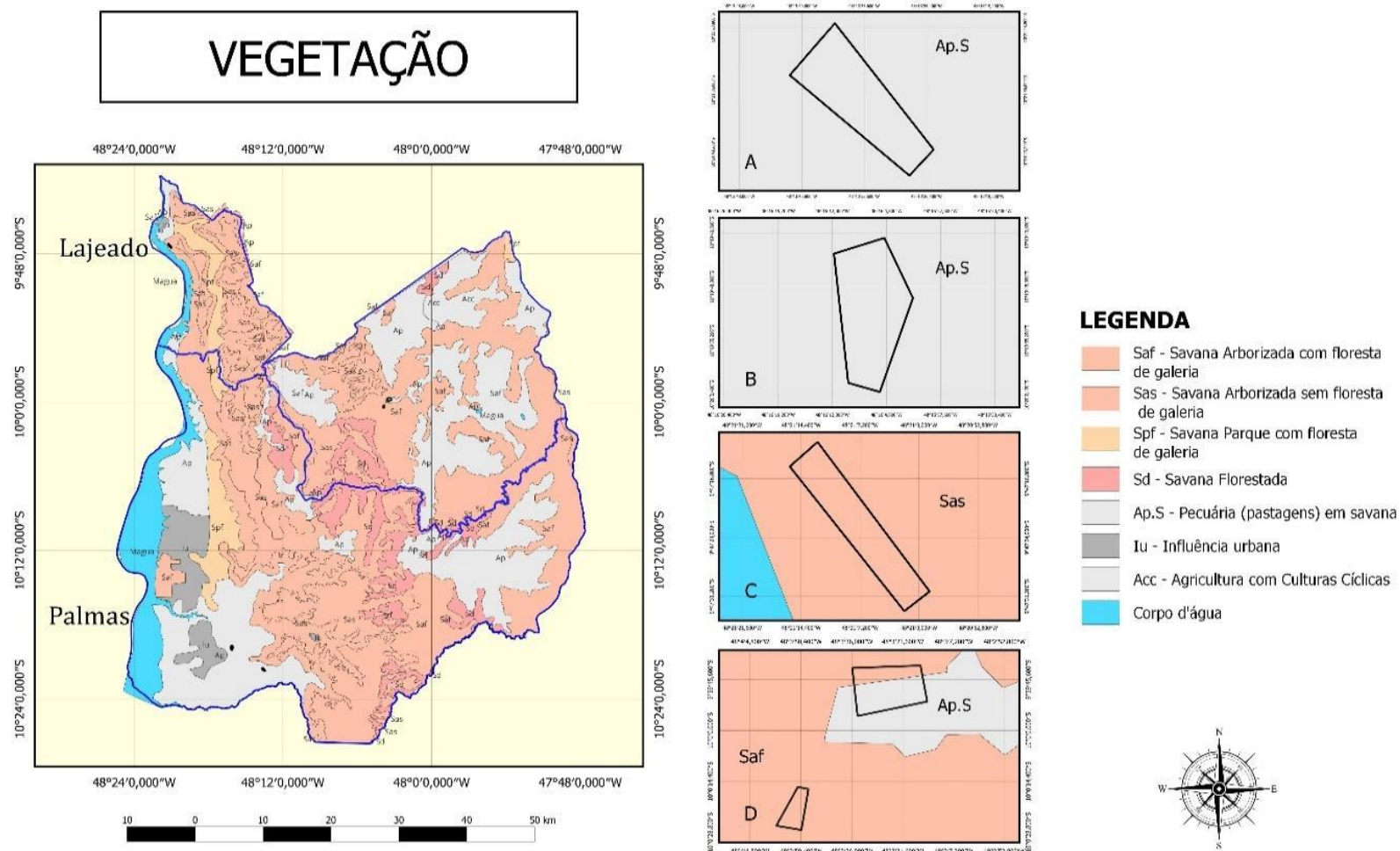
Santos; Miranda; Silva Neto (2020) afirmam que essas fitofisionomias do Cerrado (Savana) possuem nomes distintos, de acordo, principalmente com as características morfológicas e visuais. Uma fitofisionomia campestre como o campo limpo, por exemplo, tem como principal característica a predominância de estrato graminoso, assim como uma fitofisionomia de mata ou floresta de galeria tem como principal característica a predominância de árvores, o que caracteriza os ambientes florestais.

As regiões escolhidas para o presente estudo, onde estão inseridos os sítios experimentais, apresentaram subgrupos predominantes Savana Arborizada e Savana Florestada, em subformação pecuária (Ap), e com ou sem floresta-de-galeria (Figura 16).

De acordo com a Figura 16, os sítios experimentais apresentaram as seguintes classificações quanto à vegetação:

- Sítio Experimental A: Ap.S (Pecuária – pastagem- em Savana);
- Sítio Experimental B: Ap.S (Pecuária – pastagem- em Savana);
- Sítio Experimental C: Sas (Savana Arborizada sem Floresta de Galeria)
- Sítio Experimental D: Saf (Savana Arborizada com Floresta de Galeria) e Ap.S (Pecuária – pastagem- em Savana).

Figura 15. Mapeamento de vegetação dos municípios de Palmas, Aparecida do Rio Negro e Lajeado onde estão inseridos os Sítios Experimentais.



No Sítio Experimental A as populações de macaúba estão estabelecidas em Cerrado rupestre. Nessa fitofisionomia a vegetação presente é arbóreo-arbustiva que ocorre em ambientes rupestres (rochosos). Possui cobertura arbórea variável de 5% a 20%, altura média de 2 a 4 metros, e estrato arbustivo-herbáceo também destacado. Essa área está inserida no mapeamento em área de Savana Arborizada de subformação pecuária (Figura 16) conforme IBGE (2012). Isso por que a Savana existente foi convertida em pastagem deixando matas remanescentes, onde foi encontrado macaúba de interesse desse estudo. IBGE ainda finaliza dizendo que essas vegetações que estão neste mapeamento (pecuária) não são erros graves, porque servem tanto para conservação da flora quanto para o pastoreio do gado em criação extensiva. Essa região apresenta grandes rochedos entre as espécies presentes na área e trechos sobre uma matriz de gramíneas e ervas (Figura 17). Está localizada a margem esquerda da estrada que vai para o Assentamento São João em Palmas, e fica ao lado de uma mineradora de seixo e brita. Foi encontrado na área a incidência de outra espécie de palmeira, além da macaúba, a espécie do gênero *Syagrus* sp. Isso também foi relatado no Inventário Florestal do Tocantins (HAIDAR, DIAS, PINTO, 2013).

Figura 16. Macaúba em Cerrado rupestre com afloramento rochoso e gramíneas nas margens, Palmas-TO



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

No Sítio Experimental B, a população de macaúba está inserida em uma mata de galeria do córrego Cipó (Figura 18), porem está delimitado como apresenta na Figura 16 em área de Pecuária (Ap.S), em savana, porém foi estabelecido recentemente um loteamento nas proximidades da mata, chamado Jardim Laila em Taquaralto, Palmas-TO, conservando somente a mata de galeria (APP). Esse Sítio apresenta macaúba inserida em uma mata mais

fechada, com mais umidade, do que os demais Sítios, por ser característico dessa fitofisionomia do Cerrado. Na Flora e Fungo do Brasil (catálogo de espécies do Brasil) (VIANNA; CAMPOS-ROCHA, 2020) confirma o relato dessa espécie em ambiente de mata de galeria, não sendo então uma população atípica nesse tipo de vegetação.

Essa fitofisionomia localiza geralmente nos fundos dos vales, acompanhando os cursos de pequenos rios e córregos, ou nas cabeceiras de drenagem, onde os cursos d'água ainda não escavaram um canal definitivo, onde formam corredores fechados sobre os cursos d'água (RIBEIRO; WALTER, 2008). Nesse ambiente, também foi identificado a presença de outra palmeira, o babaçu, embora em menor proporção comparada à macaúba. Além disso, foi observada uma espécie herbácea bastante comum na área, identificada como *Canna* sp.

A macaúba foi igualmente registrada nesse local no estudo de Alves e Carvalho (2010), que encontrou o meio ambiente da espécie em diversos tipos de vegetação, como Cerrados, Campos Cerrados, matas de galeria, matas de encosta e campos rupestres (Transição entre Cerrado e Mata Atlântica).

Populações naturais de macaúba são encontradas em paisagens mais próximas e mais distantes de fontes de água, o que pode sugerir que esta palmeira se adapta a diferentes áreas e condições de umidade do solo (CARVALHO et al, 2024). De acordo com Cardoso et al. (2017), pesquisas de campo indicaram que populações naturais de macaúba são encontradas em diferentes condições ambientais.

Figura 17. Populações de macaúba em mata de galeria do rio Cipó, Palmas-TO



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

O Sítio Experimental C, localizado em Lajeado-TO, está inserido em uma fitofisionomia de cerrado denso, um subgrupo da Savana Arborizada (Figura 16), situado nas margens da rodovia TO-010 e próximo à Serra do Lajeado. Esse tipo de terreno é caracterizado, conforme definido por Sano, Almeida e Ribeiro (2008), como um subtipo predominantemente arbóreo, com uma cobertura que varia entre 50% e 70%, e altura média das árvores entre cinco e oito metros. No Sítio C, a vegetação apresenta um estrato arbóreo predominante (Figura 19), enquanto os estratos arbustivo e herbáceo são menos expressivos. Também foram observadas espécies trepadeiras associadas a estipes de palmeiras e a presença de gramíneas na área. Diferente de outras áreas de cerrado, como o Sítio B, onde há formação de mata mais fechada, a vegetação no Sítio C apresenta um dossel mais aberto, permitindo maior entrada de luz solar nas copas das palmeiras. Essa maior exposição à luz influencia diretamente o desenvolvimento das palmeiras, que, devido ao ambiente mais aberto, tende a não alcançar grandes alturas. A menor densidade da vegetação arbórea também contribui para a coexistência de espécies vegetais típicas de diferentes estratos, permitindo maior biodiversidade, apesar de o estrato arbóreo ser o dominante. Essa configuração com maior disponibilidade de luz nas camadas superiores, cria um ecossistema equilibrado e resiliente, porém distinto em relação a áreas de mata fechada, onde o sombreamento é mais intenso e o crescimento de palmeiras é mais vigoroso devido à busca por luz.

Figura 18. Macaúba em cerrado denso beira da T0-010, Lajeado-TO



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

O Sítio Experimental D, está em um ambiente de pastagem margeando um cerrado stricto sensu pedregoso (Figura 20). Na subárea A, o cerrado é menos pedregoso, porém na subárea B o cerrado apresenta mais pedras. O pasto presente nessa subárea apresenta espécie braquiária, já emitindo pendões florais, já na subárea A foi recém tirado o gado, estando um pasto mais raleado. As palmeiras macaúba na primeira subárea elas estão mais próximas das outras, diferente da outra que estão mais dispersas no decorrer do território. Não tem relato de nenhuma outra espécie de palmeira nesse sítio, sendo macaúba única palmeira da região.

No estudo conduzido por Teles et al. (2011) e Sousa (2019) foi relatado a ocorrência de população de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em áreas de pastagem. Esse dado é relevante porque demonstra a capacidade dessa palmeira nativa de se adaptar a ambientes modificados pela atividade agropecuária. A presença da macaúba em pastagens pode ser um indicativo de sua resistência às alterações no solo e no uso da terra, além de representar um potencial para integrar sistemas agroflorestais, contribuindo para a biodiversidade e a sustentabilidade dessas áreas. Segundo estudo feito Franco; Zimpel (2020) a macaúba integrada em pastagens, foi adotada para proporcionar sombra e reduzir a amplitude das variações de temperatura. Além disso, até mesmo árvores dispersas agem como quebra-ventos. Ao fornecer sombra, palmeiras de macaúba também podem reduzir o consumo de água do gado. Por ser uma espécie nativa, a macaúba aumenta a biodiversidade, através do fornecimento de alimento e abrigo para animais silvestres.

Figura 19. Macaubal em pastagem, na margem da T0-010, Aparecida do Rio Negro-TO



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Montoya et al. (2021) complementam relatando que o consórcio entre macaúba e pastagem é uma alternativa promissora para a agrossilvicultura em regiões tropicais. Esse sistema não apenas garante a produção de forragem em quantidade suficiente para o manejo específico, mas também oferece diversos serviços ambientais importantes, como o sequestro e armazenamento eficaz de carbono. Dessa forma, o consórcio contribui para a sustentabilidade

agrícola, promovendo o equilíbrio entre a produtividade e a conservação ambiental, e se destacando como uma estratégia viável para a mitigação das mudanças climáticas.

Ao parâmetro de declividade, conceituado por Miranda (2005), que baseia na inclinação da superfície do terreno tendo em consideração a horizontal, ou seja, a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa, elaborou-se um mapa no QGIS escolhendo a porcentagem como unidade da declividade e foram reclassificadas em seis intervalos distintos, sugeridos por ITESP (2000), conforme detalhado no Quadro 1.

Para a análise de relevo, os mapas de declividade emergem como produto de vital importância, uma vez que objetiva demonstrar as inclinações de uma dada área em relação a um eixo horizontal, servindo como fonte de informações para as formas de relevo, aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, entre outros (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; LEAL; AQUINO; SILVA, 2019).

A declividade observada no Sítio Experimental A, apresenta uma declividade média de 10%, sendo classificado como relevo ondulado (Figura 21). A declividade dos demais sítios apresentaram declividade suave (2 a 5%), esses sítios, exceto o B, margeiam áreas com declividade ondulado a colina, como o caso do Sítio C que fica próximo a Serra do Lajeado.

No trabalho de Oliveira, Estiliano e Jesus (2023), onde estudaram maciços de macaúba em 9 municípios de São Paulo relataram que esses maciços foram encontrados em declividades abaixo de 25% (0-12,5% = 64,68% e 13 a 25,5% = 31,37%), e relevo forte ondulado (97,52%).

Quanto ao atual uso do solo nos sítios experimentais observa-se no Quadro 2, onde três áreas são de áreas nativas e uma de pastagem. O sítio experimental A, foi considerado como área nativa porque consiste de partes que possuem pastagem mal formada, isto é, uma parte desmatada que conserva a gramínea nativa como cobertura sem nenhuma atividade agrícola/pecuária.

Quadro 2. Identificação, fitofisionomia e uso atual dos solos dos sítios experimentais

Sítio Experimental	Fitofisionomia ¹	Uso atual do solo
A	Cerrado rupestre	Área nativa
B	Mata galeria	Área nativa
C	Cerrado denso	Área nativa
D	Cerrado stricto sensu	Pastagem plantada

¹ Fitofisionomia classificada conforme Haidar et al. (2019)

O mapa hipsométrico (Figura 22), mostra a altimetria dos Sítios Experimentais e foi elaborado a partir de uma imagem MDE. Foram geradas curvas de nível, totalizando oito classes altimétricas. As altitudes existentes nos sítios experimentais variaram de 230 m a 400 m de

altitude. No Sítio Experimental A, apresentou altitude média de 290, seguida do B que apresentou 240 m, o Sítio C com 230 m e o Sítio D que apresentou maior altitude com 390 m. O Sítio C por margear a Serra do Lajeado, foi o que apresentou menor altitude dos Sítios. E o Sítio A, que apresentou maior declividade, teve altimetria nas quais próxima do D.

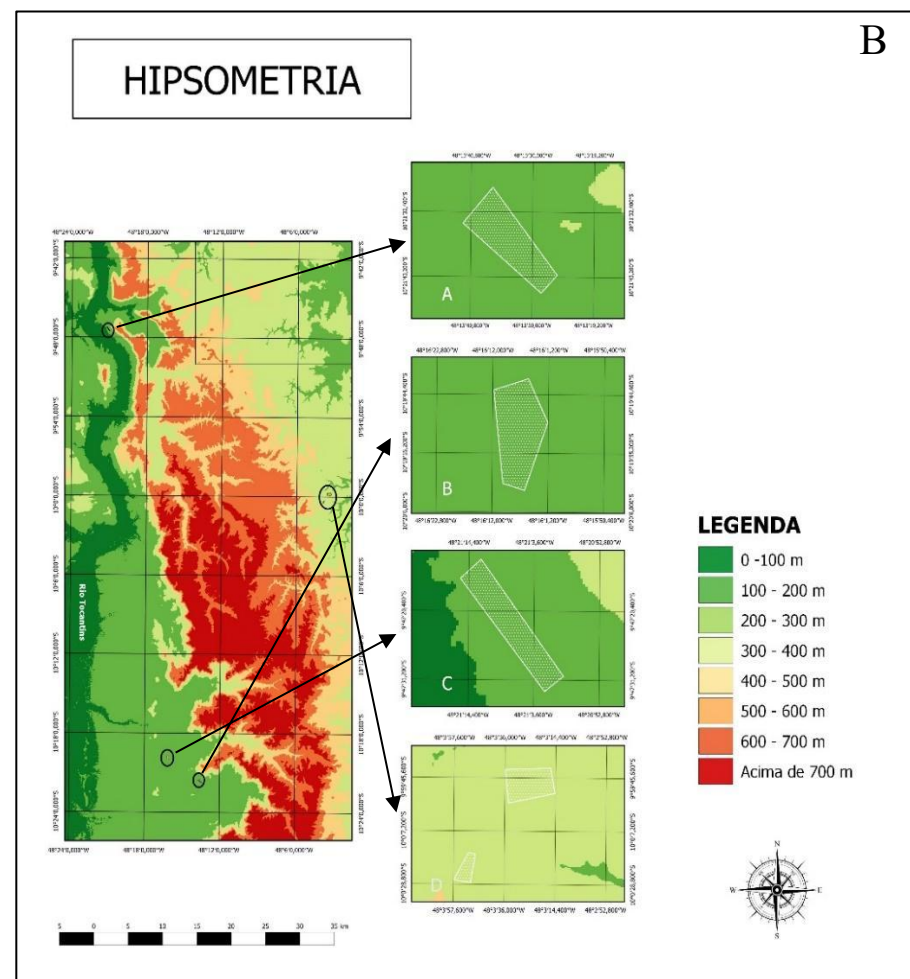
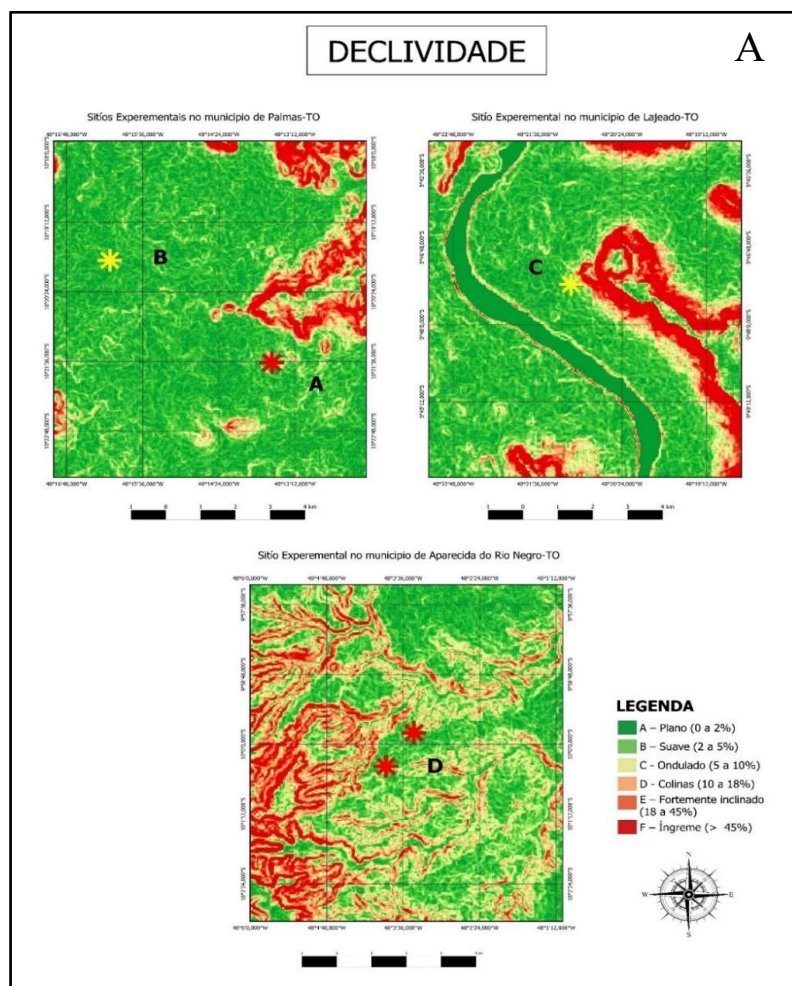
Ao estudar a ocorrência natural da macaúba em Minas Gerais, Teles (2011) identificou sua presença em altitudes que variam de 600 m a quase 800 m. O autor também aponta referências indicando que, no estado, essa espécie pode ocorrer em altitudes de até 950 m. Complementando essas informações, outros estudos destacam uma ampla faixa altitudinal para a ocorrência da macaúba, abrangendo de 150 m a 1.000 m (SILVA et al., 1992; COSTA, OLIVEIRA, COSTA, 2018).

Em regiões do estado de São Paulo, Oliveira; Estiliano; Jesus (2023) caracterizaram populações de macaúbas com predominância em altitudes entre 500 m e 750 m. Nessas localidades, foi observado que 39,95% das populações ocorrem na faixa de 500 m a 625 m, enquanto 56,71% estão concentradas entre 625 m e 750 m. Essa distribuição altitudinal reforça a plasticidade ecológica da macaúba, permitindo sua adaptação a diferentes condições ambientais, o que potencializa sua utilização em diversas regiões do Brasil.

Com isso, segundo o trabalho de Leal; Aquino; Silva (2019), os mapas gerados de métodos e procedimentos computacionais, subsidiam essa compreensão integrada da natureza e auxiliam o ordenamento territorial adequado ao uso e ocupação da terra, fornecendo uma previsão de possíveis problemas ambientais futuros.

Com base nesses estudos sobre a distribuição da macaúba, é importante destacar que o uso de ferramentas tecnológicas, como métodos e procedimentos computacionais, desempenha um papel crucial no entendimento e manejo dessa espécie e de seu ambiente. Segundo Leal; Aquino; Silva (2019), os mapas gerados por esses métodos fornecem uma compreensão integrada da paisagem natural, auxiliando no ordenamento territorial adequado ao uso e à ocupação da terra. Esses autores relatam ainda que, além disso, esses mapas permitem antecipar possíveis problemas ambientais, possibilitando um planejamento mais sustentável. Dessa forma, a combinação do conhecimento ecológico com ferramentas computacionais reforça a base para decisões estratégicas no manejo territorial e na preservação ambiental.

Figura 20. Mapas temáticos: A: Declividade; B: Hipsometria, das regiões onde localizam-se os sítios experimentais.



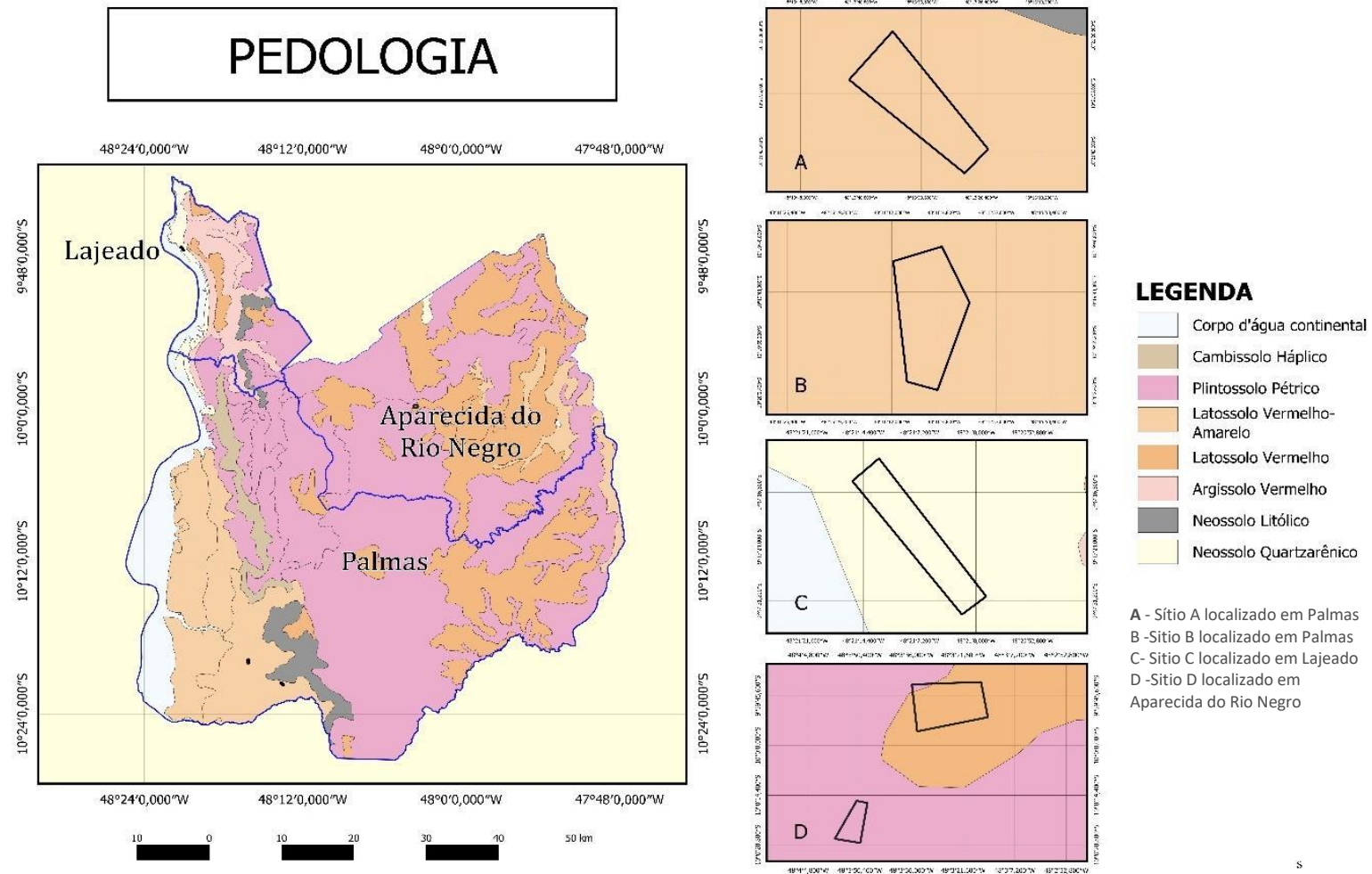
5.2 Caracterização do solo

Na região dos sítios onde as palmeiras macaúbas estão presentes, foram encontrados Latossolos Vermelho e Vermelho-amarelo e Neossolo Quartzarênico, conforme visualizado na figura 23. Onde através de ferramentas computacionais e dados vetoriais disponibilizados possibilitou avaliar a pedologia de cada Sítio. A maioria dos Sítios (A, B e D) foram encontrados em Latossolo e somente um Sítio (C) que está localizado em um Neossolo, sendo um solo mais arenoso. Com isso pode-se confirmar com a pesquisa dos autores Motta et al. (2002), onde verificaram a ocorrência de macaúba em diferentes localidades, e observaram que a maioria das palmeiras se encontravam em solos argilosos e eutróficos (latossolos), mas não havia impedimento para o desenvolvimento da palmeira em locais arenosos e distróficos.

Teles et al. (2011) identificaram diversas características pedológicas associadas à ocorrência natural da macaúba em 7 municípios do Goiás. Algumas das pedologias encontradas nessas áreas incluem: Latossolos, Argissolos e Neossolos. A compreensão dessas características pedológicas é crucial para o cultivo eficiente e sustentável dessa espécie. Machado et al. (2018), avaliando o desenvolvimento radicular da palmeira macaúba em diferentes tipos de solos, no Estado do Paraná, o Latossolos vermelho obteve valores bem satisfatório, com melhores índices de volume, área, diâmetro e comprimento. No trabalho de Moreira et al. (2019) as macaúbas do município de Araponga, MG, também localizaram populações naturais em latossolo-vermelho e amarelo. E no trabalho de Assunção (2024) mais uma vez evidenciou que a macaúba demonstrou afinidade por solos do tipo latossolos, caracterizados por alta fertilidade, textura média e melhor drenagem em comparação ao padrão típico do Cerrado. Oliveira; Estiliano; Jesus (2023), que investigaram maciços de macaúba em nove municípios do estado de São Paulo, e constataram que a maioria expressiva desses maciços ocorre em Latossolos Vermelho-Amarelos (79,25%). Esse resultado é consistente com os achados do presente trabalho, no qual a ocorrência predominante também foi registrada em Latossolos. Em contrapartida dos demais autores, no trabalho de Santos et al. (2016), populações de macaúba foram encontradas em Neossolos Quartzarênicos em áreas nativas, especialmente em regiões litorâneas, contudo o desenvolvimento dessa espécie pode ser desafiador devido à falta de nutrientes e à capacidade limitada de retenção de água desses solos.

Neste trabalho, a macaúba tem mostrado ter plasticidade em seu desenvolvimento, pois tem-se observado a sua presença em diferentes tipos de solos e níveis de fertilidade.

Figura 21. Mapa pedológico das regiões onde estão localizados os Sítios Experimentais.



Os solos analisados dos Sítios Experimentais apresentaram em média de acordo com resultado da análise física (textura) do solo dos Sítios e de acordo com o triângulo textural de Atterberg, enquadramentos na classe textural franco-argilo-arenoso (Sítio A, C, D), e no Sítio B na classe textural argilo-arenoso (Tabela 3).

Coelho et al. (2019) explicam em seu estudo que a distribuição do tamanho das partículas (textura), especificamente a proporção de areia e argila, afeta a retenção de água no solo, o que, por sua vez, pode influenciar o crescimento e a produtividade da palmeira Macaúba. O mesmo autor complementa dizendo que a proporção de areia no solo afeta a retenção de água e, portanto, a disponibilidade de água para a macaúba.

E sendo assim, solo franco-argilo-arenoso presente na maioria dos Sítios experimentais, é caracterizada pela presença equilibrada de areia, argila e silte. Isso confere ao solo uma boa drenagem, permitindo a infiltração de água e aeração adequada, ao mesmo tempo em que retém nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. A presença de argila oferece boa capacidade de retenção de água e nutrientes, enquanto a areia promove a permeabilidade. Essa combinação torna o solo propício para o desenvolvimento de uma variedade de plantas, incluindo a macaúba, que prefere solos bem drenados e com boa disponibilidade de nutrientes (SANTOS et al., 2018).

No Sítio B, onde o solo é classificado como argilo-arenoso, observa-se um teor de argila próximo em relação à areia (Tabela 3). Embora essa textura possa fornecer uma capacidade de retenção de água um pouco maior do que os solos franco-argilo-arenosos, ainda oferece condições favoráveis para o crescimento da macaúba, como podemos observar neste estudo.

Portanto, em áreas nativas com presença de macaúba, a caracterização dos solos em termos de textura é fundamental para entender as condições de crescimento dessa espécie. Tanto solos franco-argilo-arenosos quanto argilo-arenosos podem fornecer um ambiente propício para o desenvolvimento saudável da macaúba, desde que outras condições ambientais, como disponibilidade de luz solar e temperatura, também sejam adequadas.

Tabela 3. Valores médios da análise física do solo na camada 0-20 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.

Sítio Experimental	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	g kg ⁻¹			
A	574,30	150,50	283,40	Franco-argilo-arenosa
B	521,30	108,20	370,50	Argilo-arenosa
C	700,90	77,00	222,10	Franco-argilo-arenosa
D	539,49	115,85	344,65	Franco-argilo-arenosa

Os resultados da caracterização química dos solos dos sítios tanto para as duas profundidades estão representados na Tabela 4 e 5. Para avaliação dos teores no solo foi feita a comparação com os limiares propostos pela Embrapa (SOBRAL et al., 2015) e os resultados obtidos neste trabalho.

Os teores de fosforo foram predominantemente baixos tanto na profundidade de 0-20, quanto da profundidade 20-40, nos Sítios A, B, C e baixos a moderados no Sítio D, segundo os limiares da Embrapa. O Sítio C apresentou os níveis mais baixos (tabela 4), o que pode limitar o crescimento radicular e o metabolismo energético das plantas. Entre outras funções o P atua nos processos de preservação e transferência de energia, nas etapas da fotossíntese e respiração (DIETRICH, 2022). A baixa disponibilidade de fósforo pode ser um fator limitante para o crescimento da macaúba, especialmente em solos ácidos, onde o fósforo tende a se tornar menos disponível para as plantas (BARROS, 2020).

Em populações nativas de macaúba, que estão adaptadas a solos pobres em nutrientes (NOVAES, 1952), a baixa concentração de fósforo pode não ser um impedimento severo, mas certamente limita o potencial máximo de crescimento e produção de frutos. Práticas que incluem a adição de fontes de fósforo, como fosfatos naturais, poderiam ser exploradas para melhorar a fertilidade do solo em áreas destinadas à recuperação ou intensificação de populações nativas de macaúba.

Com relação aos teores de Cálcio, os níveis variaram de baixos a moderados, onde o Sítio A ($1,75 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,57 \text{ cmol.dm}^3$) apresentou maior teor na profundidade de 0-20 e baixo no 20-40, e o Sítio D ($1,38 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,16 \text{ cmol.dm}^3$) foi o menor teor nas duas profundidades. O Sítio B apresentou os valores moderados na profundidade de 0-20 e baixos na 20-40 ($1,72 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,41 \text{ cmol.dm}^3$) e C da mesma forma do anterior nas duas profundidades ($1,68 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,59 \text{ cmol.dm}^3$). A presença de cálcio é importante para a estrutura e alongamento das paredes celulares e para a regulação da acidez do solo que pode interferir no crescimento das plantas (PIMENTEL, 2012). Os níveis observados são adequados e sugerem que, apesar da acidez do solo, há uma quantidade suficiente de cálcio disponível para as plantas.

Quantidades razoáveis de cálcio são vantajosas para as plantas de macaúba, pois auxiliam na neutralização da acidez do solo e na estabilidade do complexo de troca catiônica, promovendo o crescimento das raízes. Nas regiões onde macaúba é nativa, esses níveis podem ser aceitáveis, porém em solos mais ácidos, pode ser necessário adicionar cálcio para melhorar as condições do solo e a saúde das plantas (VILLAR, 2007).

Avaliando os valores de Magnésio, os teores médios foram considerados altos nos Sítios A ($1,04 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,01 \text{ cmol.dm}^3$) e B ($1,21 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,08 \text{ cmol.dm}^3$) nas duas profundidades, baixos a moderados no Sítio C ($0,89 \text{ cmol.dm}^3$ e $0,85 \text{ cmol.dm}^3$) e médios a altos

no Sítio D ($1,17 \text{ cmol.dm}^3$ e $0,99 \text{ cmol.dm}^3$) nas duas profundidades (Tabela 4). Apesar da variação, não foram observados sintomas visuais de deficiência de magnésio nas palmeiras. Quando as macaúbas apresentam deficiências em Mg apresentam crescimento reduzido em algumas plantas, crescimento errático, as folhas novas não se desenvolvem e clorose generalizada na planta similar ao N, porém iniciando-se nas folhas novas (PIMENTEL et al., 2011; MOTOIKE et al., 2013; DIETRICH, 2022).

Em relação ao potássio os níveis foram considerados altos no Sítio A ($101,66 \text{ mg.dm}^3$ e $93,84 \text{ mg.dm}^3$), B ($113,39 \text{ mg.dm}^3$ e $93,84 \text{ mg.dm}^3$) e C ($74,29 \text{ mg.dm}^3$) nas duas profundidades, enquanto no Sítio D ($50,83 \text{ mg.dm}^3$ e $58,65 \text{ mg.dm}^3$) os teores foram moderados também nas duas profundidades. O potássio é crucial para a formação de frutos e o crescimento vegetativo da macaúba. Embora haja uma variação significativa nos teores de potássio, a média indica que o solo possui níveis moderados desse nutriente, suficientes para sustentar as populações nativas de macaúba. Isso é explicado no trabalho de Dietrich (2020), onde a presença de potássio em níveis moderados a altos pode favorecer o desenvolvimento das populações de macaúba, especialmente na camada mais superficial do solo, onde as raízes estão mais ativas na absorção de nutrientes. Ele ainda relata que a maior produtividade da palmeira foi influenciada quando o potássio apresentou teores adequados a superiores, e que no 10º ano após o plantio da mesma, os valores de potássio decaíram bastante, reduzindo a produtividade. E isso está relacionado com a demanda que a planta tem com esse nutriente para produtividade.

Embora a macaúba apresente estas características de rusticidade e adaptabilidade a áreas com condições adversas de solo e clima, a ocorrência natural da macaúba em solos eutróficos (MOTTA et al., 2002; TELES et al., 2011) indica significativas demandas nutricionais pela planta. Em experimentos com macaúbas cultivadas, a planta tem se mostrado responsiva à adubação nas fases de muda, crescimento inicial e início da fase reprodutiva, em especial à adubação nitrogenada e potássica (PIMENTEL et al., 2015; SANTOS, 2015; PIMENTEL et al., 2016; DIETRICH, 2017; DIETRICH, 2022).

Os teores de alumínio foram baixos nos Sítios A, B e C (Tabela 4), mas relativamente altos no Sítio D ($1,33 \text{ cmol.dm}^3$ e $1,16 \text{ cmol.dm}^3$), representando um potencial risco de toxicidade para as plantas, especialmente em condições de acidez elevada. O alumínio em solos ácidos pode ser tóxico para as plantas, prejudicando o crescimento radicular e a absorção de nutrientes, influenciar na disponibilidade de nutrientes e processos, bem como na mineralização da matéria orgânica presente no solo (MATIAS; MOTTA, 2020). Embora os níveis observados em 3 sítios sejam relativamente baixos, e um com teores altos, o alumínio ainda está presente em quantidades que podem representar um risco para as plantas, especialmente em condições de acidez elevada.

O pH do solo foi ligeiramente ácido em todos os Sítios e fortemente ácido no Sítio D (4,31) nas duas profundidades analisadas. Embora a macaúba tolere solos ácidos, a acidez excessiva pode limitar a disponibilidade de nutrientes. Estes valores indicam um solo fortemente ácido. Estes valores estão próximos àqueles obtidos por Teles (2011), para solos de uma vasta área da região dos Cerrados.

Os teores de Matéria Orgânica foram baixos no Sítio A ($1,38 \text{ dg.kg}^{-1}$ e $1,17 \text{ dg.kg}^{-1}$) tanto na camada 0-20 quanto na 20-40. No Sítio B os valores foram moderados na camada 0-20 ($2,14 \text{ dg.kg}^{-1}$) e baixo na camada 20-40 ($1,40 \text{ dg.kg}^{-1}$), e no Sítio C os teores foram baixos nas duas camadas C ($1,37 \text{ dg.kg}^{-1}$ e $1,21 \text{ dg.kg}^{-1}$). Enquanto no Sítio D os teores foram altos na camada superficial ($3,39 \text{ dg.kg}^{-1}$) e mais baixos na profundidade 20-40 ($2,38 \text{ dg.kg}^{-1}$). A matéria orgânica contribui para a estrutura do solo, retenção de água e disponibilidade de nutrientes. Solos com alta matéria orgânica, especialmente na superfície, são vantajosos por melhorarem a estrutura, a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes. Para a macaúba nativa, essa alta matéria orgânica pode ajudar a equilibrar a acidez do solo, mantendo a fertilidade e a resistência das plantas. Em locais com menos matéria orgânica, adicionar compostos orgânicos pode melhorar o solo. Solos mais férteis estão ligados a frutos maiores e mais pesados, mostrando a importância de um solo rico para o bom desenvolvimento da palmeira (COELHO et al., 2019).

A análise dos solos mostrou que o Sítio B foi o mais equilibrado, com boa quantidade de fósforo e potássio, além de baixos níveis de alumínio, o que é positivo para o crescimento das plantas. Já o Sítio D apresentou um problema importante: o solo tem muito alumínio, o que pode dificultar o desenvolvimento das espécies.

Em resumo no Sítio C, os níveis de fósforo ($1,38 \text{ mg.dm}^3$ e $1,22 \text{ mg.dm}^3$) estavam muito baixos, o que normalmente prejudica o crescimento. Mas apresentou teores altos de potássio ($74,29 \text{ mg.dm}^3$), que está ligado ao desenvolvimento dos frutos. O que foi justamente ali que se observou o melhor desenvolvimento dos frutos, um dado curioso que pode indicar a influência de outros fatores.

O Sítio A também tem boa disponibilidade de nutrientes, mas o pH levemente ácido exige atenção, pois podem afetar o desenvolvimento das plantas. Mesmo sendo uma planta rústica, a macaúba responde às condições do solo. Áreas com solos mais férteis, pH em torno de 5,5 e textura argilosa costumam ter mais plantas. Já no Sítio D, as ações humanas, como preparo e adubação do solo, mudaram suas características naturais.

Tabela 4. Valores máximo, mínimo e médio da análise química do solo na camada 0-20 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.

Elementos	Sítio A			Sítio B			Sítio C			Sítio D			Méd	CV (%)
	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.		
P (mg.dm³)	40,68	1,93	2,49	79,84	2,11	2,81	4,76	0,55	1,38	24,28	1,21	2,09	2,19	73,74
Ca (cmol.dm³)	6,56	0,50	1,75	7,11	0,96	1,72	2,80	1,73	1,68	4,19	0,29	1,38	1,63	29,12
Mg (cmol.dm³)	1,31	0,23	1,04	1,52	0,38	1,21	0,47	0,13	0,89	2,42	0,01	1,17	1,07	20,24
K (mg.dm³)	195,50	31,28	101,66	136,85	66,47	113,39	144,67	43,01	74,29	136,85	19,55	50,83	82,11	46,42
Al (cmol.dm³)	0,63	0	0,19	0,47	0,11	0,21	0,36	0,04	0,18	2,31	0	1,33	0,43	111,82
M.O (dg.kg⁻¹)	3,10	1,00	1,38	3,45	1,54	2,14	1,71	0,80	1,37	5,65	2,06	3,39	2,14	34,75
pH	5,28	4,40	4,90	5,29	4,48	4,81	4,95	4,34	4,65	5,50	3,89	4,31	4,68	7,84

Tabela 5. Valores máximos, mínimos e médios da análise química do solo na camada 20-40 cm, nos Sítios experimentais com ocorrência natural de macaúba.

Elementos	Sítio A			Sítio B			Sítio C			Sítio D			Méd	CV (%)
	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.		
P (mg.dm³)	6,56	1,09	2,19	69,93	0,97	2,46	1,81	0,61	1,22	6,26	1,15	1,93	1,94	69,63
Ca (cmol.dm³)	5,83	0,67	1,57	5,34	0,27	1,41	2,80	1,73	1,59	3,75	0,35	1,16	1,43	27,71
Mg (cmol.dm³)	1,12	0,20	1,01	1,11	0,26	1,08	0,31	0,09	0,85	1,15	0,04	0,99	0,98	15,45
K (mg.dm³)	148,58	27,37	93,84	152,49	35,19	93,84	148,58	31,28	74,29	136,85	19,55	58,65	82,11	55,66
Al (cmol.dm³)	0,21	0,04	0,12	0,39	0,11	0,22	0,41	0,04	0,25	2,42	0	1,16	0,93	103,82
M.O (dg.kg⁻¹)	1,77	0,70	1,17	2,39	0,77	1,40	1,51	1,00	1,21	3,39	1,32	2,38	1,53	30,44
pH	5,27	4,77	4,96	5,30	4,32	4,75	4,96	4,24	4,53	4,98	3,86	4,16	4,62	6,84

5.3 Caracterização morfológica

Os Sítios Experimentais A, B, C e D (Figura 23), nos levantamentos realizados nessas áreas, constatou-se mais de 90 palmeiras. Porém, o número total de plantas de cada área, não foi semelhante, isso porque trabalhou-se com áreas de diferentes tamanhos. Contudo, atendeu-se o critério estabelecido com relação ao número mínimo de 50 plantas.

A maior ocorrência da macaúba, dos sítios mapeados, foi do sítio A, sendo identificados 209 indivíduos. O Sítio Experimental B, verificou-se 153 indivíduos, o Sítio C identificou 117 e Sítio D apresentou 95 indivíduos, totalizando 574 indivíduos (Tabela 6). Observou-se que na maioria das palmeiras havia a presença de cachos com frutos ou com inflorescências. A maioria dos indivíduos que não apresentavam cachos, eram as palmeiras jovens.

Figura 22. Características visuais das populações de Macaúba nos quatros Sítios experimentais.



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Pela Tabela 6, o Sítio Experimental D apresentou menor número de palmeiras adultas (90 palmeiras), sendo que no Sítio A, foi onde obteve-se a maior quantidade de plantas adultas, (181 palmeiras). Já no B as palmeiras apresentaram maior números de plantas jovens. Lorenzi

(2006) ao estudar uma população de macaúba também encontrou um número relativamente baixo de indivíduos nos estádios iniciais de desenvolvimento.

Figura 23. Registro em campo de palmeira jovem de macaúba durante avaliação morfológica



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

No trabalho de Cruz et al. (2020) que avaliou duas populações de macaúba (uma em mata e outra em pastagem), também observou as populações da palmeira não apresentaram diferenças quanto à estrutura da população, demonstrando um baixo número de plântulas nas parcelas amostradas, com predominância de adultos, o que pode estar relacionado à pressão de uso do fruto e consequentemente a problemas na regeneração desta espécie. Kahn; Castro (1985) explicam que as queimadas para formações de pastagens, acabam ocasionando o declínio da propagação da palmeira, consequentemente número reduzido de plantas jovens.

No Sítio Experimental B foram encontradas 13 palmeiras com inflorescência, variando de 1 a 4 por planta, no Sítio C foi encontrado somente uma planta com inflorescência, e as demais áreas não teve relato de inflorescências. Isso ocorreu devido ao período que cada área foi executada o levantamento.

Em relação ao número de cachos de frutos por planta, nos Sítios Experimentais A, B, C e D (Figura 25), variou de 1 a 6, com média de 2 cachos por planta (Tabela 6). Já em B o número variou de 1 a 5 cachos, e apresentando então uma média de 1 cacho por planta, onde teve relato de várias fases de maturação dos frutos em uma mesma planta.

Figura 24. Comparativo visual dos cachos frutíferos das macaúbas nos quatros Sítios experimentais



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Segundo o trabalho de Cardoso; Rodrigues; Santos (2016), onde avaliaram o ciclo de vida do óleo da macaúba, relataram palmeiras que produzem 5 cachos de frutos em uma população com uma densidade $351 \text{ plantas.ha}^{-1}$, ao contrário deste trabalho que foi desenvolvido em maciços naturais, onde observou-se número menor de cachos, assim como a densidade populacional muito baixa. Segundo o trabalho de Nobre et al. (2015), foram avaliadas palmeiras de macaúba nativas no norte do Estado de Minas Gerais, onde o número de cachos por planta variou de 2 a 6, com média de 4 cachos por planta. Esses mesmos autores e Silva (2007), explicam que a caracterização e comparação de resultados na espécie enfrentam desafios significativos devido à heterogeneidade do material encontrado em condições naturais.

Essa dificuldade é ampliada pela expressiva variabilidade genética e pela desuniformidade na idade das palmeiras, fatores que comprometem a precisão na comparação morfométrica. No estudo bibliográfico de Nobre et al. (2014), relatam ainda que esses fatores supracitados, fazem que as populações nativas terem produtividade total baixa, e aumentando consideravelmente o trabalho de colheita dos frutos, já que apresentam maturação desuniforme. No estudo de Berton (2013) complementa relatando que os fatores ambientais como queimadas, chuvas ou outras condições desfavoráveis à polinização, podem também ser algumas das causas de oscilação na produção de frutos.

No estudo de Franco (2019), foi conduzido experimentos para avaliar a frequência de queda dos frutos na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) denominado Horta Velha, em Viçosa em uma área de consórcio com macaúba e café, o número de cachos por planta variou de 3 a 6. Onde uma única planta que apresentou seis cachos.

No Sítio C foi o que apresentou menor incidência tanto de cachos de frutos quanto de inflorescência. Isso devido as fases de floração e frutificação da espécie que possuem grande variação, provavelmente por causa dos fatores climáticos de cada região (WANDECK; JUSTO, 1988). No estudo de Lorenzi (2016) ele explica que a fase de desenvolvimento do fruto inicia-se no final do período chuvoso, contudo, é no período de seca que os frutos completam seu desenvolvimento, culminando com sua queda entre novembro e dezembro.

Nas palmeiras que apresentaram cachos, foi relatado a incidência de com frutos maduros e verdes ao mesmo tempo. No trabalho de Machado (2018) explica que *A. aculeata* apresenta fenofases, isto é, o tempo demorado da formação do fruto desde o aparecimento da bainha até a formação dos frutos faz com que a população e indivíduos tenham ao mesmo tempo frutos maduros caindo e cachos com fruto verde que irão amadurecer somente no outro ciclo.

Tabela 6. Características gerais das plantas de macaúba nos Sítios Experimentais A, B, C e D.

Sítio Exp.	Dimensão (ha)	Números de plantas			Densidade (n° plantas/ ha)	N° plantas c/ inflorescência	Média de cachos/pl	Mês/Ano
		Adultas	Jovens	Total				
A	10,11	181	28	209	20,67	0	2	Out.2021
B	13,48	114	39	153	11,35	13	1	Dez.2021
C	8,98	83	34	117	13	1	1	Mai 2022
D	27,00	90	5	95	3,60	0	2	Jun 2022
Total		468	106	574	-	-	-	-

A densidade dos Sítios A, B e C apresentou mais de 10 plantas por hectare (Tabela 6) a 20,67 plantas/ha. O único Sítio que obteve densidade menor foi o D, por ser uma área em pastagens com dimensão grande e poucas plantas em relação aos demais Sítios.

Segundo Vianna et al. (2021), estimativas da densidade populacional em áreas naturais, áreas de espécies vegetais de interesse econômico, produção, rendimento de frutos e seus componentes fornecem informações para qualquer atividade econômica, seja extrativismo ou cultivo, sendo também relevante para o planejamento de ações de conservação de espécies nativas. Peters (1994) e Cruz et al (2021) complementa relatando que, o estudo da estrutura populacional e da densidade de uma espécie pode fornecer informações sobre se uma espécie

está ou não se regenerando em florestas e ambientes impactados por atividades humanas, tais como criação de gado, permitindo observar seu efeito sobre certas categorias de crescimento.

As maiores médias de altura das plantas foram encontradas nos Sítios A e B e a menor foi no Sítio C. Nos Sítios Experimentais, as palmeiras tiveram alturas variando de 2,2 a 13,40 m, e alturas médias de 6 a 8 m de altura (Tabela 7). No trabalho de Nobre et al (2015) as alturas das macaúbas presentes no município de Coração de Jesus-MG, tiveram alturas variando de 5,82 e 17,02 m, isso possivelmente está ligada a idade das palmeiras, pois neste trabalho foi relatado que são palmeiras com maior idade, diferente desse estudo, que foi relatado muitas palmeiras jovens. Já no livro Harri et al (2006), *Frutas Brasileiras: Exóticas cultivadas*, relata que a macaúba tem média de altura de 10 a 15 m, e na *Flora e Funga do Brasil do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* (2020), tem entre 5 a 15 m de altura.

Confirmando o que autor disse anteriormente, no trabalho de Couto et al. (2024), onde estudaram genomas de macaúbas nativas para mapear espécies para produção de óleo, relataram de fato que baixa estatura é devido sua idade e não seu mérito genético. Sendo um dos grandes desafios no estudo de populações perenes e nativas de macaúba.

As palmeiras apresentaram médias de diâmetro à altura do peito (DAP) semelhantes, chegando a valores próximos a 20 cm. O maior DAP encontrado foi de 31 cm e de menor foi 10 cm. Foi observado também que as maiorias das palmeiras apresentaram menor DAP (Tabela 7). Onde o indivíduo de maior altura (13,40m) apresentou DAP 15,28 cm. No estudo de Nobre et al. (2014), explica que isso é devido a presença de estipe recoberto por reminiscências das bainhas espinhentas em palmeira quando jovem. Os valores médios encontrados na literatura são de 20-30 cm de DAP (HARRI et al., 2006; SOUZA et al., 2020), e de 15-40 cm (VIANA, CAMPOS-ROCHA, 2020).

No estudo de Silva (2017) nos municípios de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo foi encontrado palmeiras com intervalos variando de 3,5 m a 8,8 m. Em relação ao DAP 42,50 % palmeiras apresentaram acima de 20 cm, e 39,25% tiveram DAP menores que 15 cm.

A maioria das palmeiras analisadas neste estudo não apresentou espinhos no estipe, totalizando 372 de um total de 576 palmeiras avaliadas (Tabela 7). Entre as 202 palmeiras com espinhos, observou-se que a maior parte corresponde a indivíduos jovens, com 106 palmeiras, enquanto 96 eram adultas. Os espinhos, de coloração escura e formato pontiagudo, possuem, em média, 8 cm de comprimento (Figura 26). Esses espinhos estão localizados nos estipes, pecíolos e nas ráquias das folhas, reforçando a característica distintiva dessas estruturas.

Figura 25. Estipe de palmeira com espinhos (A). Estipe de palmeira sem espinho (B)



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Tabela 7. Médias da Circunferência à altura do Peito – CAP (cm), Diâmetro à altura do Peito DAP (cm), Altura (m) e presença de espinhos nos estipes das palmeiras de macaúba em cada Sítio Experimental

Sítio Exp.	CAP (cm)	DAP (cm)	Média das alturas das plantas (m)		Presença de espinhos no estipe	
			Estipe	Total	Com	Sem
A	57,51	18,31	6,68	7,70	88	121
B	57,90	18,43	6,56	7,57	59	94
C	55,78	17,75	4,75	5,76	45	72
D	62,42	19,86	5,50	6,36	10	85
Total	-	-	-	-	202	372

Diante disso, foi avaliado dados de 20 palmeiras escolhidas aleatoriamente para cada sítio e feito a comparação estatísticas das variáveis: Altura (m); DAP (cm); N° de cachos; N° de inflorescência (Tabela 8). Observando então que para algumas variáveis não houve diferença significativa a 5% de probabilidade.

Não foram encontradas diferenças entre as alturas das palmeiras do Sítio A e B, e nem diferenças entre as alturas das palmeiras do sítio C e D.

As maiores alturas foram encontradas nos sítios A (8,47m) e B (8,17 m) e menor foi no sítio D (5,90 m) conforme já supracitados (Tabela 7).

Tabela 8. Comparação das médias das variáveis: altura, número de cachos e número de inflorescências.

Sítio Exp.	Altura (m)	Nº de cachos	Nº de inflorescência
A	8,47 a	2,50 a	0 a
B	8,17 a	1,20 ab	0,55 b
C	6,25 b	1,25 bc	0,15 ab
D	5,90 b	2,70 c	0 a
Média	7,20	1,91	0,17
CV (%)	24,62	79,60	303

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade

Somente 2 sítios (A e D) apresentaram maiores números de cachos por área, e os mesmos se diferenciaram-se estatisticamente. Os sítios B e C obtiveram médias semelhantes porem na variável inflorescências, foram os que somente apresentaram incidência, e se diferenciando dos demais estatisticamente (Tabela 8). Isso é devido a fenologia da espécie e datas da realização do estudo que coincidiu em fases diferentes. Segundo Montoya et al. (2016) explica relatando que o fruto da macaúba apresenta uma curva de crescimento duplo sigmóide e desenvolvimento supra-anual. E Rezende et al., (2020) complementa ainda que isso é devido a esse longo período exigido, o crescimento e desenvolvimento dos frutos, em uma mesma localidade, ocorre ao longo de todas as estações do ano, de forma que o fruto, em sua vida, sofrerá variações consideráveis de fatores climáticos isolados, principalmente temperatura atmosférica e precipitação/ Disponibilidade de água.

As diferenças observadas em nosso trabalho, como a maior altura média das plantas nos Sítios A e B ou os frutos com maior peso e teor de óleo no Sítio C (Tabelas 7, 9, 12), podem refletir não apenas as condições atuais do solo ou idade das plantas, mas também adaptações fisiológicas subjacentes, análogas às encontradas por Pires (2017) entre biomas. A robustez geral da macaúba observada em todos os sítios, mesmo na área de pastagem (Sítio D), é consistente com as características anatômicas xeromórficas (folhas hipoestomáticas, tricomas, hipoderme) descritas por Pires (2017), que conferem à espécie uma notável capacidade de economia hídrica.

A constatação de Pires (2017) de que a variação fisiológica se correlaciona com a distribuição geográfica e o bioma de origem, agrupando populações da Floresta Atlântica

separadamente das do Cerrado com base em variáveis como transpiração (E) e EUA , reforça a hipótese de que as populações naturais de macaúba no Tocantins também podem abrigar "ecótipos fisiológicos". A variabilidade que foi encontrado no trabalho, especialmente a performance superior do Sítio C em termos de óleo, pode ser um indicativo dessa diferenciação local.

Com isso, foi notado que a caracterização das populações de *Acrocomia aculeata* em diferentes ambientes na região central do Tocantins revelou uma notável variabilidade morfológica. Essa variabilidade pode ser interpretada não apenas como resultado direto das condições edafoclimáticas atuais, mas também como um indicativo de possíveis diferenciações fisiológicas intraespecíficas, moldadas pelas distintas pressões seletivas de cada ambiente ao longo do tempo (MOTTA et al., 2002; COELHO et al., 2019; BARBOSA, 2021)

Portanto, a variação fisiológica intraespecífica constatada, ou inferida a partir das diferenças ambientais e produtivas entre os sítios nesse trabalho, representa um recurso valioso. Ela pode ser utilizada como matéria-prima essencial para programas de melhoramento genético da macaúba, permitindo a seleção de genótipos com características agrônômicas e fisiológicas superiores, que sejam não apenas produtivos, mas também especificamente adaptados às diversas condições encontradas no bioma Cerrado, otimizando o potencial da espécie para a produção sustentável de bioenergia e outros coprodutos na região (PIRES, 2017; ALVES, 2022).

5.3.1 Biometria dos Frutos

A análise biométrica dos frutos de *Acrocomia aculeata* coletados nos quatro sítios experimentais revelou considerável variabilidade nas características quantitativas avaliadas. Conforme apresentado na Tabela 9, os coeficientes de variação (CV) oscilaram significativamente, indicando heterogeneidade tanto entre os sítios quanto dentro de cada população amostrada. Com isso observa-se na tabela 7, que coeficiente de variação oscilou de 7,61% para comprimento do fruto (COM) a 52,99 % para peso do mesocarpo fresco (MEF).

Silva et al. (2021), analisaram 41 descritores morfoagronômicos quantitativos utilizados na caracterização da espécie *Acrocomia aculeata* em três localidades de coleta situadas em Minas Gerais e São Paulo, e constataram também uma grande amplitude dos registros de coeficiente de variação (CV) das plantas, que oscilou de 5,1 (comprimento do fruto) a 60,0% (número de cicatriz de cálice na região feminina da ráquila na porção apical do cacho).

As dimensões médias dos frutos, com comprimentos médios variou de 32,49 mm (Sítio D) a 38,79 mm (Sítio A). O Sítio A apresenta uma maior média (38,79 mm) e uma maior

variação (CV de 10,08%). O Sítio D tem o menor comprimento médio (32,49 mm) e um menor índice de variação (9,99%), (Tabela 9). As medidas de largura média dos frutos variaram de 33,45 mm (Sítio A) a 37,56 mm (Sítio C). O Sítio C tem a maior média de largura dos frutos (37,56 mm), enquanto o Sítio A tem a menor (33,45 mm), mostrando uma diferença significativa no tamanho dos frutos. O Sítio D tem uma largura média de 35,13 mm, mas com uma maior variação (CV de 9,32%) (Tabela 9) (Figura 28).

No trabalho de Montoya; Motoike; Kuki, (2016) onde estudaram o desenvolvimento dos frutos de macaúba da região de Acaiaca, Minas Gerais, encontraram frutos que atingiram seus valores médios máximos, 46,0 mm e 52,0 g, respectivamente. Já na pesquisa de Viroli et al (2021) realizada no município de Paraíso do Tocantins registrou frutos com comprimento de 36,5 mm e largura de 41,8 mm, que apresentam semelhanças dos dados biométricos obtidos no presente estudo. Silva Neto et al. (2021) obtiveram resultado de frutos variando de 30 mm a 38 mm, semelhante a desse trabalho.

Os valores de peso médio dos frutos variaram de 21,15 g (Sítio B) a 33,76 g (Sítio C). O Sítio C tem os frutos mais pesados em média (33,76 g), e o Sítio B os mais leves (21,15 g). O Sítio D apresenta frutos com peso intermediário. No trabalho de Silva Neto et al. (2021) o peso dos frutos encontrados foram valores entre 10,30 e 45,77 g semelhante então ao encontrado nesse trabalho.

A média de peso da casca varia de 5,69 g (Sítio D) a 7,75 g (Sítio C). O Sítio C apresenta a maior média de peso da casca (7,75 g), diminuindo uma espessura mais significativa. O Sítio A tem a menor média (6,56 g), com um CV elevado (42,17%), apresentando grande variabilidade (Tabela 9).

As avaliações para determinar o peso dos frutos são importantes, uma vez que permitem distinguir os frutos com maior quantidade de polpa, os mais valorizados pela indústria, pois apresentam os maiores valores de mercado podendo ser utilizados na alimentação humana, devido sua boa qualidade nutricional e propriedades farmacológicas (RAMÍREZ-HERNÁNDEZ et al., 2011; SILVA NETO et al, 2021). No entanto, o maior interesse na exploração dos frutos em *A. aculeata* é pelo seu potencial na produção de óleo para biocombustível (LOPES et al., 2018).

E com isso o peso médio do mesocarpo variou entre 16,27 g (Sítio B) e 22,48 g (Sítio C). O Sítio C novamente se destaca com o maior peso de mesocarpo (22,48 g), revelando um maior potencial de remoção de óleo. O Sítio D tem o menor peso médio (16,43 g), com uma variação significativa (CV de 28,58%). O peso médio do endocarpo variou de 2,29 g (Sítio B) a 4,81 g (Sítio D). O Sítio D tem o maior peso de endocarpo (4,81 g), o que pode indicar uma

camada mais robusta em relação a outros sítios. O Sítio B tem a menor média (2,29 g), com um CV elevado (70,93%), o que apresenta uma grande variação no peso do endocarpo (tabela 9).

O peso médio do endosperma variou de 1,47 g (Sítio A) a 2,20 g (Sítio C). O Sítio C apresenta o maior peso médio de endosperma (2,20 g), com a menor taxa de variação (24,08%), o que indica uma consistência maior na quantidade de amêndoa dentro dos frutos. O Sítio A tem a menor média (1,47 g), com uma variação maior (CV de 29,75%) (Figura 27).

O Sítio C se sobressai em quase todos os quesitos, especialmente no peso total dos frutos e nos componentes importantes como mesocarpo e endosperma, destacando-se como o local com maior potencial de aproveitamento econômico. No trabalho de Coelho et al, (2019) explica que a características biométricas dos frutos são significativamente influenciadas pela fertilidade do solo, porem o solo desse sitio foi menos significativo em relação a nutrição mineral do que os outros sítios. O Sítio B, por outro lado, apresenta frutos menores e com menor peso de mesocarpo e endosperma.

O Sítio B apresenta uma característica única com o maior peso de endocarpo, o que pode ser relevante para determinadas aplicações, como a produção de sementes mais robustas. Porém, o menor comprimento e o peso intermediário dos frutos podem limitar sua atratividade para a produção de óleo. O Sítio A, embora apresente frutos mais longos, tem o menor peso de endosperma e uma variação alta na casca, o que pode reduzir o rendimento na extração de óleo. Esses resultados mostram que há uma clara distinção entre os sítios, sendo o Sítio C o mais promissor, enquanto os outros sítios apresentam características que podem ser exploradas para diferentes finalidades específicas ou aprimoradas.

No estudo de Montoya; Motoike; Kuki (2016), que estudaram o desenvolvimento dos frutos da macaúba em condições naturais, relatam que as mudanças qualitativas e quantitativas das partes do fruto diferiram em tempo e padrão garantindo o cumprimento de seus papéis ecológicos como estruturas de proteção ou armazenamento. E que embora o tamanho do fruto e o acúmulo de compostos orgânicos possam variar dentro de certos limites com a procedência da planta, o momento dos eventos de crescimento e as proporções de compostos são fenômenos relacionados às espécies.

Figura 26. Partes do fruto de macaúba: à esquerda, frutos inteiros com epicarpo e mesocarpo; ao centro, endocarpos abertos mostrando o interior; à direita, amêndoa isolada



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Figura 27. Frutos de macaúba coletados nos quatro sítios experimentais em ordem de tamanho. A imagem apresenta três frutos representativos de cada sítio (A, B, C e D) evidenciando a variabilidade morfológica entre as populações quanto à coloração, tamanho e textura do epicarpo.

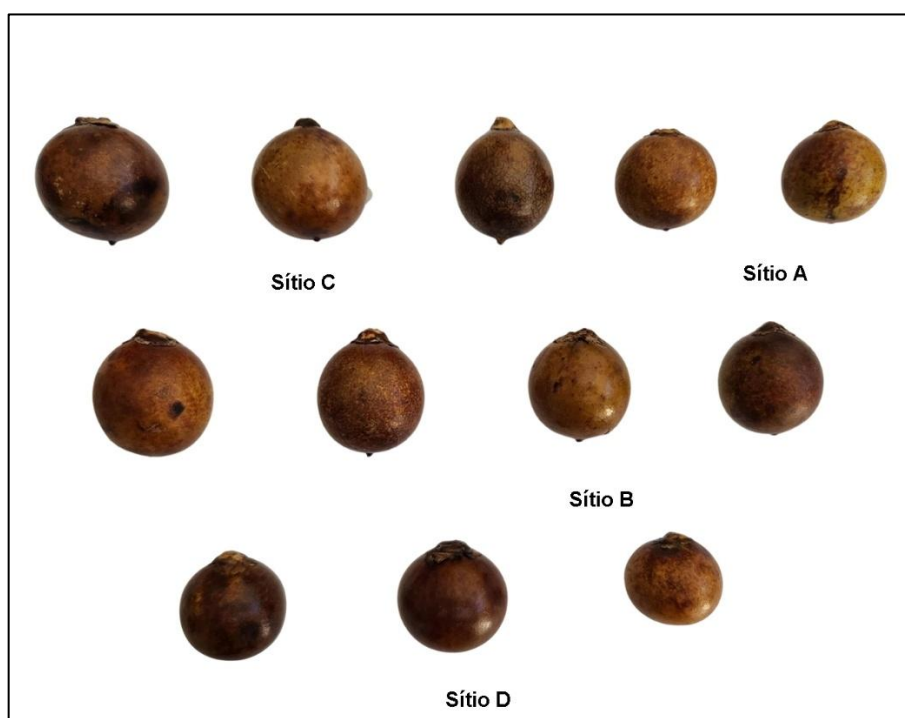


Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Tabela 9: Valores máximo (Máx), mínimo (Mín), média (Méd), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), para comprimento dos frutos (COM), largura dos frutos (LAR), peso dos frutos, casca do fruto fresca (CAF), mesocarpo fresco (MEF), endocarpo fresco (EDF) e endosperma (ENF)

Biometria	Sítio A					Sítio B					Sítio C					Sítio D				
	Máx	Min	Méd.	CV (%)	DP	Máx	Min	Méd.	CV (%)	DP	Máx	Min	Méd.	CV (%)	DP	Máx	Min	Méd.	CV (%)	DP
COM (mm)	40	38	33,79	10,08	3,41	41	31,3	35,50	7,61	2,70	43	32	38,16	8,43	3,22	40	27	32,49	9,39	3,50
LAR (mm)	38	28	33,45	8,28	2,77	42	31	35,41	8,12	2,87	42	31,5	37,56	8,03	3,01	37	25	31,78	8,29	2,63
PESO (g)	25,74	11,25	18,42	27,77	5,11	38,71	13,33	21,15	33,76	7,14	38,34	16,20	27,75	22,82	6,33	26,83	9,13	15,21	26,61	4,04
CAF (g)	5,96	2,31	3,95	33,34	1,32	7,31	3,13	4,56	21,85	1,00	8,76	2,73	5,16	32,04	1,65	6,33	2,41	3,57	24,87	0,89
MEF (g)	11,67	2,61	6,56	42,17	2,77	15,58	2,79	7,05	52,99	3,74	16,39	5,01	10,42	27,45	2,86	10,90	2,20	5,28	41,58	2,19
EDF (g)	8,21	4,07	5,88	19,08	0,44	13,88	4,63	7,34	37,70	2,41	13,26	4,20	9,31	27,15	2,53	7,32	3,41	4,89	18,25	0,89
ENF (g)	2,64	0,92	1,47	29,75	1,12	2,13	1,005	1,64	18,93	0,31	3,25	1,42	2,20	24,88	0,55	1,30	0,62	0,97	20,73	0,20

O gráfico de barras empilhadas representa a distribuição percentual das partes do fruto da macaúba (casca, polpa, endocarpo e castanha) em quatro sítios diferentes (A, B, C e D) (Figura 27). Cada barra indica as proporções relativas de cada componente do fruto em cada local.

A proporção de semente varia entre os sítios, sendo mais alta no Sítio B (8,39%) e mais baixa no Sítio D (7,21%). A semente é a menor porção em todos os sítios, mas ainda contribui significativamente para a composição do fruto. O endocarpo representa entre 32,92% e 35,34% do fruto. O Sítio B possui a maior proporção de endocarpo (35,34%), enquanto o sítio A tem a menor (32,92%). O endocarpo parece ter uma variação limitada entre os sítios, mas é uma parte significativa do fruto.

O mesocarpo é a maior parte do fruto, representando entre 33,97% (Sítio B) e 38,34% (Sítio C). O Sítio C se destaca por ter uma maior proporção de mesocarpo, indicando maior potencial de remoção de óleo da polpa nesse local. Já o Sítio B tem menor proporção de mesocarpo, com uma diferença notável em relação ao sítio C.

A casca varia entre 18,98% (Sítio C) e 24,29% (Sítio D). O Sítio D tem a maior proporção de casca, enquanto o sítio C apresenta a menor, o que pode ter implicações no aproveitamento do fruto, como na quantidade de resíduos. O Sítio D tem a maior proporção de casca e a menor de semente, o que pode variar a qualidade de aproveitamento das partes mais valorizadas do fruto, como o mesocarpo (parte oleaginosa).

O Sítio C, com maior proporção de mesocarpo, pode ser mais interessante para remoção de óleo em comparação com outros. As diferenças entre os sítios sugerem variações nas condições ambientais ou genéticas que influenciam a composição do fruto.

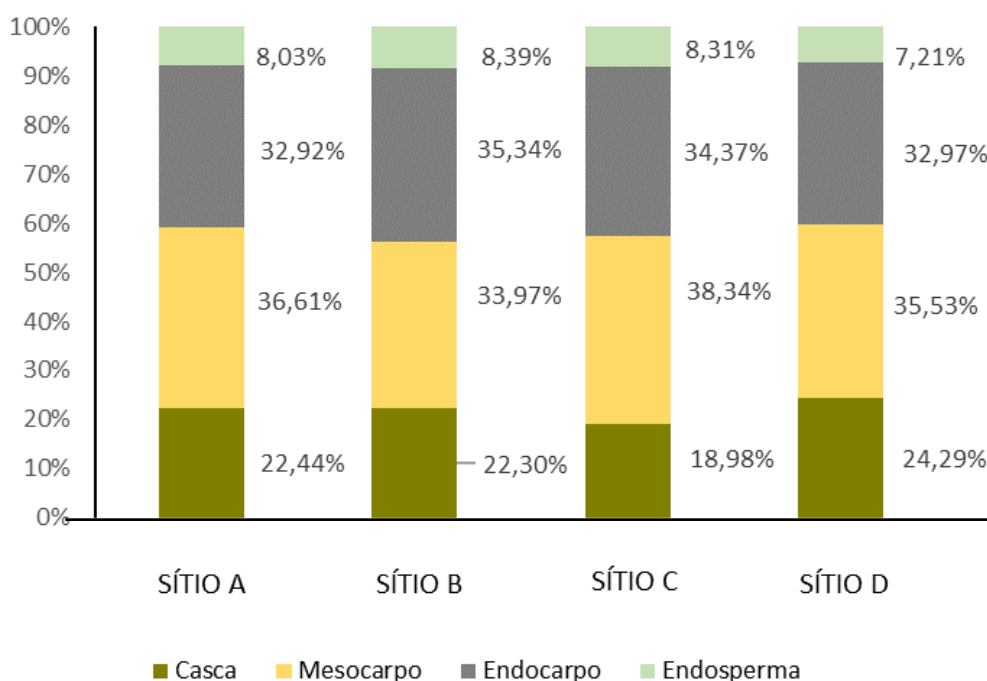
No trabalho desenvolvido por Alves (2022), obteve a proporção de polpa nos frutos de 4 populações de macaúba, variando de 35,8 a 52,4%, e de endosperma dentro do intervalo de 5% a 10,8%, cujos valores, assemelham-se aos resultados do presente estudo. Já Silva et al. (2022) observaram em três maciços naturais de macaúba localizados em São Paulo e Minas Gerais, proporções maiores de mesocarpo/fruto, variando de 46% a 48,2% e menores de endosperma de 4,1% a 4,4%.

A superioridade do Sítio C em termos de massa de fruto, polpa e amêndoa é particularmente interessante. Embora Coelho et al. (2019) tenham associado maior fertilidade do solo a frutos maiores e mais pesados, os dados desse trabalho de caracterização do solo (Tabela 4) não indicaram, necessariamente, uma superioridade nutricional no Sítio C em comparação aos demais. Isso sugere que outros fatores ambientais específicos do local (microclima, regime hídrico associado ao Cerrado Denso) ou, possivelmente, características

genéticas intrínsecas àquela população, podem estar contribuindo significativamente para o maior investimento da planta na produção de frutos mais robustos e ricos em polpa e amêndoa. Fatores ambientais como temperatura e disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento do fruto são conhecidos por influenciar seu peso final e concentração de óleo.

Em contraste, o Sítio B apresentou os frutos mais leves e com menor massa de mesocarpo e endosperma, o que pode estar relacionado às condições específicas da Mata de Galeria ou a fatores genéticos. O Sítio D, embora com peso de fruto intermediário, destacou-se pela maior massa e proporção de endocarpo (4,81 g; 35,34%), o que pode ser relevante para o aproveitamento desse resíduo (ex: produção de carvão), mas representa uma menor proporção relativa das frações oleaginosas (polpa e castanha).

Figura 28: Composição percentual das partes dos frutos nos diferentes Sítios



5.4 Identificação botânica e distribuição geográfica

As plantas coletadas para estudo foram encaminhadas ao Herbário HUTO e para o Herbário IAC (Instituto Agrônomo de Campinas- SP), a fim de que sejam identificadas por comparação e analisadas por especialistas. No Herbário HUTO essas plantas foram depositadas e registradas no banco de dados, compondo a flora do local, gerando um número tombo e se tornando exsicatas (Quadro 3), em seguidas enviadas ao Herbário IAC para identificação.

Esse depósito consistiu na herborização do material, que depois de seco em estufa, eles são afixados em papel cartão (Figura 28) e colado etiqueta e por fim armazenado na coleção do Herbário. Isso é esclarecido no trabalho de Silva et al. (2014), onde explica que as amostras botânicas coletadas e tratadas segundo determinadas técnicas básicas poderão fazer parte do acervo dos herbários, servindo como documentação científica dos trabalhos realizados e como referência às identificações taxonômicas. Ele complementa relatando que essas amostras contribuem para maximizar o número de plantas catalogadas no País, elevando o conhecimento da diversidade vegetal brasileira e promovendo, conseqüentemente, o uso racional dos recursos florestais.

Essas coleções botânicas também são fundamentais para as pesquisas em sistemática, além de funcionarem como um verdadeiro acervo museológico imprescindíveis para todo e qualquer trabalho de pesquisa relacionado a aspectos da diversidade, portanto documentam a existência de espécies em um determinado tempo e espaço (SANTOS; MELO; FRANCISCON, 2017).

As exsiccatas encaminhadas ao Herbário IAC têm como objetivo a identificação taxonômica, realizada pelos especialistas Dr. Carlos Colombo e Fábio Carvalho, reconhecidos por seu conhecimento na espécie *Acrocomia* sp., sendo então possível identificar as amostras enviadas como pertencentes a todas à espécie *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd.Mart. (Tabela 10). Portanto, não ocorreu a presença de espécies diferentes de *Acrocomia aculeata* nos sítios experimentais desse estudo. E isso, pode ser explicado pela pesquisa de Lima, Meerow e Manfrin (2020), onde as populações de macaúba que foram estudadas a maioria foram mais as da espécie *A. aculeata* do que em outras espécies de macaúba. Essa observação entre as espécies de macaúba pode ser resultado da distribuição geográfica mais ampla de *A. aculeata*, associada à baixa diversidade das outras espécies da palmeira macaúba.

Quadro 3. Registro das amostras de *Acrocomia* sp. coletadas pela autora e depositadas no Herbário HUTO e Herbário IAC.

Nº Tombo Herbário HUTO	Espécie	Coletor	Nº da coleta	Data da Coleta	Especialistas
8138	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	97	01/03/2022	CARVALHO, F.D.N; COLOMBO, C. A. (IAC)
8139	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	98	01/03/2022	
8140	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	99	28/04/2022	
8141	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	100	28/04/2022	
8142	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	101	21/04/2022	
8143	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	102	21/04/2022	

8186	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	104	26/06/2022
8187	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Mart.	SANTOS, A.C.	105	26/06/2022

Figura 29. Coleta botânica e a herborização do material vegetal coletado a campo (A) e exsicata do material coletado (B).



Foto: Arquivo pessoal da própria autora

Alguns descritores qualitativos morfológicos os herbários utilizam para a clara identificação de espécies: quantidades de espinhos nas pinas na face adaxial da folha, ausência ou presença de espinhos nos estipes, cor do epicarpo (casca) do fruto entre outros. No trabalho de Silva et al. (2021), ele enfatiza que além desses critérios acima supracitados, os descritores agrônômicos são também de suma importância para taxonomia do gênero *Acrocomia* sp., contribuindo para caracterizar e diferenciar espécies e, conseqüentemente orientar a seleção de

indivíduos com características interessantes para o melhoramento genético e programas de conservação para domesticação da macaúba.

Com isso, nos últimos anos o país aumentou pesquisas científicas e conhecimento técnico da morfologia para domesticar a *A. aculeata*. Porém para investir em cultivo comercial para produção de óleo de macaúba ocorra de forma sustentável e financeiramente viável, fatores locais de adequação agrônômica e considerações ecológicas e sociais devem ser avaliados antes de iniciar a produção, uma vez que mudanças climáticas no longo prazo podem representar riscos econômicos ao cultivo da espécie (BORGES et al., 2021).

A partir então dessa identificação pelos especialistas, as informações desses materiais coletados nos Sítios experimentais, depositados nos herbários gerou um aprimoramento de informações da diversidade da flora regional. Medeiros et al. (2022), destaca a importância das Floras Regionais, que contribuem para o conhecimento da Flora Brasileira, destacando que trabalhos monográficos com famílias específicas são fundamentais para atualizar as informações globais. O autor também salienta que os herbários desempenham um papel essencial nesse contexto, sendo indispensáveis para estudos relacionados à flora e constituindo uma base de apoio à pesquisa em diversas áreas do conhecimento.

E com isso o registro de espécies em coleções botânicas em herbários, se torna uma das ferramentas utilizadas na construção de mapas de ocorrências e distribuição geográficas das espécies (PROCÓPIO; SECCO, 2008). Diante disso, em consulta ao site *SpeciesLink*, uma plataforma que disponibiliza os dados dos herbários do Brasil e de outros países, as amostras de *Acrocomia aculeata* estão depositadas em 54 herbários, tendo 290 registros da espécie nesses herbários. Sendo que os maiores registros estão nos Herbários SinBiota (SP), CEN (Brasília), UB (Brasília) e IAC (SP).

O site *SpeciesLink* é uma ótima ferramenta para quem não tem acesso presencial a um herbário, é o banco de dados do CRIA, *speciesLink* (<https://specieslink.net/>), onde é fornecido milhares de imagens de coleções botânicas, microbiológicas, paleontológicas, zoológicas. Onde grande parte dos herbários brasileiros disponibilizam fotografias de seus registros. Facilitando assim o acesso da comunidade (ROJAS et al., 2023)

Com essa plataforma pode-se obter um mapa (Figura 29) com as ocorrências da espécie *Acrocomia aculeata* que foram coletadas e depositadas nos diferentes herbários no Brasil como já supra citados. Onde podemos observar que essa espécie está inserida além do bioma do cerrado, no bioma amazônico, caatinga e Mata Atlântica, porém concentra-se a maioria no cerrado.

Figura 30. Distribuição geográfica de *Acrocomia aculeata* no Brasil, com base em dados de herbários.



Fonte: speciesLink network (<https://specieslink.net>)

5.5 Estimativa de estoque de carbono

Após a análise metódica dos dados, onde foi aplicado a equação alométrica para cada sítio. A aplicação de equações alométricas para calcular o estoque de carbono é essencial, pois elas permitem estimar a biomassa de forma precisa, utilizando variáveis como diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das plantas. Com esses dados, foi possível quantificar o carbono sequestrado na área de interesse, o que proporciona uma base sólida para avaliações ambientais e planejamentos de manejo sustentável.

O estudo de Avalos; Cambroner; Alvarez (2022), enfatiza que essa alternativa seria ideal, uma vez que a estimativa do teor de carbono utilizando abordagens alométricas pode se beneficiar de uma maior consistência na coleta de dados das plantas, permitindo estimar valores sem a necessidade de remover as do campo. Além disso, os autores ainda relatam que análises alométricas que incorporam biomassa de palmeiras em estudos sobre estoques de carbono ainda são escassas. Sua inclusão não apenas aprimora a precisão de tais modelos, mas também ampliava nossa compreensão da base mecanicista das características funcionais importantes.

Já no trabalho de Castro (2023), relata que a aplicação de técnicas amostrais do inventário florestal para avaliar o estoque de carbono de plantios de macaúba utilizando uma

equação alométrica adequada à estimativa de carbono de macaubeiras é algo inédito. Tal procedimento pode ser útil no desenvolvimento de projetos com créditos de carbono, considerando desde sua viabilidade até sua certificação.

As equações alométricas disponíveis na literatura até então para palmeiras foram produzidas a partir de dados de espécies que não incluía a macaúba

No trabalho de Moreira et al. (2025) recomenda-se que a variável 'altura total' possa ser bem utilizada para estimar o acúmulo de carbono em plantas de macaúba. A altura total é mais fácil de medir em campo e menos propensa a erros de medição do que variáveis como o número de folhas e o diâmetro da copa.

Com isso, a partir da tabulação dos dados das alturas dos sítios e aplica-los na equação alométrica obteve-se os resultados do acúmulo de carbono por palmeira, apresentado os valores médios do acúmulo de carbono por planta em cada sítio (Tabela 10), Os dados obtidos demonstram uma variação significativa no acúmulo médio de carbono por planta entre os diferentes sítios avaliados. Os maiores acúmulos médios foram observados nos Sítios A (82,19 kg planta⁻¹) e B (90,66 kg planta⁻¹), enquanto os menores valores foram encontrados nos Sítios C (33,52 kg planta⁻¹) e D (46,27 kg planta⁻¹).

O elevado acúmulo de carbono nos Sítios A e B sugere condições mais favoráveis ao crescimento da macaúba, possivelmente relacionadas à maior densidade de indivíduos adultos e altura média das plantas. Esses dados corroboram os resultados obtidos por Avalos; Cambronero; Alvarez (2022), que destacam a influência da estrutura populacional e das condições edafoclimáticas no potencial de sequestro de carbono em palmeiras nativas como já supracitados.

Tabela 10 - Acúmulo médio de carbono por planta de *Acrocomia aculeata* (kg.planta⁻¹) por sítio experimental estudado

Sítios Experimentais	Acúmulo de carbono médio por planta (kg planta ⁻¹)
Sítio A	82,19
Sítio B	90,66
Sítio C	33,52
Sítio D	46,27
Média geral:	63,16

Com relação ao estoque de carbono por hectare, destaca-se que o Sítio A apresentou o maior estoque de carbono (35,12 t C ha⁻¹), o equivalente a 128,79 tCO₂eqha⁻¹, evidenciando ser

uma vegetação mais densa (Tabela 11). Esse valor é próximo à média estimada por Helmut (2023), que aponta que a macaúba pode sequestrar cerca de 28,73 t CO₂eq ha⁻¹ anualmente em áreas de alta adaptabilidade, como o Cerrado brasileiro. Tais números reforçam o potencial da espécie como alternativa viável para projetos de sequestro de carbono e reflorestamento.

Em contrapartida, o Sítio D apresentou os menores valores de estoque de carbono e CO₂ equivalente (0,57 t C ha⁻¹ e 2,10 t CO₂eq ha⁻¹, respectivamente), o que possivelmente reflete um uso predominante da área como pastagem. A baixa densidade de palmeiras naturais, que varia de 86 a 144 plantas por hectare (MOREIRA, 2020), justifica os baixos estoques observados nos sítios C e D. Já os sítios A e B, com maior densidade, refletem maior potencial de acúmulo de carbono. Moreira (2019) demonstra que a idade das plantas tem impacto direto no estoque de carbono, obtendo 94,45 t C ha⁻¹ em macaúbas com 4,8 anos e até 226,17 t C ha⁻¹ aos 9 anos de cultivo.

Trabalhos comprovam o potencial da macaúba em estocar carbono, abrindo possibilidades futuras negociação de créditos de carbono (MOTOIKE; HILGER, 2024). Macaúbas em áreas de ocorrência são capazes de estocar 19,51 t C ha⁻¹ (FERREIRA et al., 2013; MOTOIKE; HILGER, 2024) a 33,85 t C ha⁻¹ (TOLEDO, 2010)

Tabela 11. Estoques de Carbono Total e Equivalente de CO₂ total por Sítio Experimental

Sítio	Carbono médio por planta (kg planta ⁻¹)	Número de plantas por hectare (plantas. ha ⁻¹)	Média das alturas das plantas (m)	Estoque C por hectare (t C.ha ⁻¹)	Equivalente de CO ₂ por hectare (t CO ₂ eq.ha ⁻¹) ¹
A	82,19	20,67	7,70	35,12	128,79
B	90,66	11,35	7,57	11,68	42,83
C	33,52	13	5,76	5,69	20,86
D	46,27	3,60	6,36	0,57	2,10

¹O Fator de conversão utilizado para transformar toneladas de carbono por hectare, em toneladas de gás carbônico equivalente por hectare, foi de 3,667.

Uma das formas mais eficientes de minimizar os impactos ligados às alterações climáticas e contribuir na redução das emissões de carbono, sequestrando-o, fixando-o e mantendo-o pelo maior tempo possível na biomassa vegetal. Através da fotossíntese, as plantas utilizam o dióxido de carbono (CO₂) na síntese de carboidratos e, assim, fixam o carbono em sua biomassa (ROCHA et al., 2018).

Os estoques de carbono estimados significam, de um modo geral, a quantidade de CO₂ que foi retirada da atmosfera e que se encontra aprisionada na biomassa aérea, na forma de carbono orgânico (RONQUIN, 2007; FERNANDES et al., 2008; ROCHA et al., 2017). No trabalho de Rocha et al. (2018), encontrou populações de macaúba que estocam carbono variando de 0,05 t/ha a 0,07 t/ha no município de Várzea Grande, MT.

O sítio A, com os maiores valores de estoque e sequestro de carbono, apresenta o maior potencial para contribuir com práticas de conservação ambiental ou manejo sustentável. Por outro lado, o sítio D, com o menor estoque e sequestro, pode exigir intervenções mais significativas, como reflorestamento ou manejo de solo adequado, já que é uma área de pastagem, para aumentar sua capacidade de mitigação das emissões de CO₂.

Em relação a outras pesquisas, o sequestro de carbono, foi relatado uma taxa média de captura de carbono em aérea das plantações de macaúba que totaliza 0,063 tCO₂e/árvore/ano (MOREIRA et al., 2020), ou 25,12, 19,63 e 12,08 tCO₂e/ha/ano para os modelos de plantação da INOCAS 5x5 (400 palmeiras/ha), 4x8 (312 palmeiras/ha) e 4x13 (188 palmeiras/ha), respectivamente (IMAFLOA, 2020). Nesse mesmo documento do Imaflora, finaliza complementando que a captura de carbono na biomassa da palmeira é pelo menos 11 vezes maior do que a taxa de captura de carbono no solo (1,12 tCO₂e/ha/ano).

Em áreas naturais, as macaúbas são encontradas na paisagem aleatoriamente e, conseqüentemente, têm uma menor densidade de cultivo como já supracitado. Isso explica o menor estoque principalmente nos sítios C e D. A densidade de cultivo comercial para macaúba geralmente varia de 400 a 461 plantas/ha, sendo que a densidade de palmeiras macaúbas naturais varia de 86 a 144 plantas/ha (MOREIRA, 2020), justificando ainda mais o menor estoque de C nessas áreas.

Segundo Moreira (2019) relata em seu estudo que a macaúba apresentou maior eficiência em armazenar carbono a uma taxa maior (kg/planta) do que o eucalipto, culturas de frutas como maçã e kiwi, outras culturas de palmeiras, incluindo o coco e a noz-de-pinang. Comparada à palmeira de óleo africana, que é amplamente cultivada em regiões tropicais, a macaúba parece ter uma menor capacidade de estoque de C por planta, mas uma maior taxa de acumulação de C por área cultivada (plantas/ha). Esse mesmo autor complementa relatando que a macaúba é uma espécie potencial para plantios, visando minimização das emissões de gases, além de possibilitar a obtenção de renda com as vendas dos créditos de carbono.

Moreira et al. (2024), destacaram que os cultivos de macaúba com menos de uma década apresentam estoques de carbono superiores aos encontrados no solo de florestas com mais de

30 anos de regeneração. Esse resultado destaca o notável potencial da macaúba cultivada para o sequestro de carbono, tanto na biomassa quanto no solo, em um curto período.

Montoya et al. (2021) estudaram como a macaúba cresceu em um sistema com uma gramínea. Os resultados demonstraram que a macaúba fixou carbono de modo satisfatório, sendo o principal captador e armazenador de carbono atmosférico nesse sistema consorciado. Esse estudo ainda constatou que a quantidade de carbono armazenado foi significativamente maior nesse sistema em comparação com outro que incluía o eucalipto.

O cultivo de macaúba possui um grande potencial para superar a capacidade de armazenamento de carbono na biomassa em áreas de pastagens e na vegetação nativa do Cerrado (MOREIRA, 2019), o que o torna uma referência promissora para iniciativas de recuperação de áreas degradadas nesse bioma tão relevante no Brasil. Nesse contexto, a macaúba desponta como um componente valioso para sistemas integrados de produção que combinem pastagens e palmeiras, uma abordagem já testada e recomendada por Montoya (2016).

Existe, portanto, carência de informações para a cultura, o que pode dificultar estudos futuros de quantificação do potencial de acúmulo de biomassa e carbono proporcionado pela palmeira que, atualmente, tem sua área de produção em expansão (MOREIRA, 2020).

O avanço tecnológico pode ser incorporado nas medições. Pesquisas em andamento demonstram que o uso de drones multiespectrais podem agilizar a estimativa de biomassa e carbono em plantações de palmeiras macaúba com alta acurácia e baixa interferência no ambiente (SANTOS, 2025). Essa abordagem deve ser incentivada para suprir a carência de dados alométricos específicos, que ainda representa uma limitação nos estudos com a espécie (TOLEDO, 2010; FERREIRA et al., 2013).

Portanto, embora este estudo forneça percepções valiosas sobre o estoque de carbono em palmeiras, é necessário continuar investigando e pesquisando sobre os fatores que influenciam esse processo de armazenamento de carbono em maciços de palmeiras. Essas informações são essenciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável desses recursos naturais.

5.6 Extração de óleo dos frutos de macaúba

A análise do teor de óleo nos frutos coletados nos Sítios Experimentais C (Lajeado, ambiente natural de Cerrado Denso) e D (Aparecida do Rio Negro, ambiente antropizado de

Pastagem Plantada) revelou variações importantes dependendo da localidade, da parte do fruto e do tempo de extração utilizando o método de Bligh & Dyer.

Os teores médios de óleo extraído no Sítio C (Lajeado) foram consistentemente superiores aos do Sítio D (Aparecida), tanto para o mesocarpo quanto para o endosperma (amêndoa), em ambos os tempos de extração (30 e 60 minutos). Este resultado sugere que, embora as análises de solo tenham indicado algumas limitações nutricionais no Sítio C em comparação a outros sítios, fatores ambientais específicos dessa localidade (microclima, disponibilidade hídrica na fase de enchimento dos frutos) ou mesmo características genéticas da população local podem estar favorecendo maior acúmulo de óleo, ou ainda, pode refletir diferenças no ponto de maturação ou condições de armazenamento dos frutos coletados em cada local.

Sobre a análise dos Sítios Experimentais C e D em relação ao tempo de extração o teor de óleo no mesocarpo diminuíram com o aumento do tempo de extração (Sítio C: 23,22% em 30 minutos para 18,23% em 60 minutos; Sítio D: 32,30% para 30,58%), indicando uma possível saturação na extração. Esse comportamento também pode indicar que uma extração inicial rápida captura a maior parte do óleo disponível. No endosperma, o comportamento é inverso também para os dois Sítios: há um leve aumento no teor de óleo com o tempo (Sítio C: 20,26% para 21,23%; Sítio D: 29,84% para 30,69%) (Tabela 12), sugerindo maior eficiência de extração com períodos mais longos.

Em Aparecida, o mesocarpo apresentou maior teor de óleo em 30 minutos (23,22%) do que o endosperma (20,26%). Entretanto, o endosperma apresentou maior eficiência em 60 minutos, superando o mesocarpo (21,23% contra 18,23%). Em Lajeado, o mesocarpo também apresentou maior teor de óleo em 30 minutos (32,30%) em comparação ao endosperma (29,84%). Contudo, em 60 minutos, os teores são praticamente iguais (mesocarpo: 30,58%, endosperma: 30,69%).

Os resultados destacam variações significativas na eficiência de extração de óleo entre localidades, partes do fruto e tempos de extração. Essas diferenças reforçam a necessidade de adaptar os processos de extração às características específicas de cada matéria-prima e localidade para maximizar o rendimento e a qualidade do óleo.

Tabela 12. Teor de óleo (%) extraído do mesocarpo e do endosperma de frutos coletados em Aparecida e Lajeado, em diferentes tempos de extração (30 e 60 minutos)

Local	Parte do fruto	Tempo de extração (min)	Teor de Óleo (%)
-------	----------------	----------------------------	---------------------

Aparecida	Mesocarpo	30	23,21
		60	18,23
	Endosperma	30	20,26
		60	21,23
Lajeado	Mesocarpo	30	32,30
		60	30,58
	Endosperma	30	29,84
		60	30,69

Com relação à análise estatística das médias de efeitos principais do teor de óleo de frutos de macaúba (teores médios gerais), comparando as partes do fruto, não houve diferença estatística significativa no teor médio geral de óleo entre o mesocarpo (26,08%) e o endosperma (25,50%) quando considerados os dados agregados dos dois sítios (Tabela 13). E também não houve diferença estatística significativa entre os tempos de extração (30 vs. 60 minutos) na média geral.

Contudo, estatisticamente, a análise dos efeitos principais confirmou que o local de coleta foi o único fator com efeito significativo ($p < 0,05$), com o Sítio C apresentando um teor médio geral de óleo de 30,85%, significativamente maior que os 20,73% do Sítio D.

Tabela 13. Comparação das Médias de efeitos principais dos teores de óleo (%) obtidos a partir dos frutos de macaúba nos Sítios C (Lajeado) e D (Aparecida do Rio Negro), considerando os locais de coleta, partes do fruto e o tempo de extração.

Sítios	Teor médio de óleo (%)	Parte do fruto	Teor médio de óleo (%) ¹	Tempo de extração (min)	Teor médio de óleo (%) ²
Sítio C	30,85 a	Mesocarpo	26,08 a	30	26,40 a
Sítio D	20,73 b	Endosperma	25,50 a	60	25,18 a

Letras distintas inseridas ao lado dos valores, indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

¹ Média geral do teor de óleo de cada parte do fruto envolvendo os Sítios C e D

² Média geral do teor de óleo de cada tempo de extração envolvendo os Sítios C e D

Média geral: 25,79% e CV: 16,22%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025)

Os resultados do teor de óleo do mesocarpo, obtidos por Silva et al. (2020), realizado em dois municípios paulistas de Campinas e Rifaina, foram de 30,42% e 33,20%, superando o valor constatado neste trabalho.

Trentini et al. (2017) analisaram a extração de óleo da polpa de macaúba por extração líquida pressurizada (PLE), utilizando etanol e isopropanol como solventes. Os rendimentos

máximos alcançados foram, 44,78%, com etanol e 37,12%, com isopropanol a 60 °C, equivalendo a cerca de 77% do rendimento do método Soxhlet, mas em menos tempo e com menor consumo de solvente. O processo atingiu os rendimentos máximos em apenas 62 minutos.

No estudo de Rosa et al. (2019), desenvolvido no Estado do Paraná, considerando a extração de óleo de *Acrocomia aculeata* pela metodologia EAU a partir do endosperma, resultou em um rendimento de até 40,61%, e pelo método de Soxhlet obteve 51,17%. Magalhães et al. (2020), em Minas Gerais, obtiveram em um rendimento médio de óleo do endosperma de 30%, sendo todos esses trabalhos com superiores aos obtidos no presente estudo.

A extração de óleo realizada por Rosa et al. (2019), pela metodologia EAU a partir do endosperma, resultou em um rendimento de até 40,61%, enquanto Magalhães et al. (2020) obtiveram 30%. Esses valores são superiores aos obtidos neste estudo, onde a extração resultou no teor médio de óleo do endosperma de 25,50%.

De acordo com Silva (2023) sobre os teores de óleo da macaúba (*Acrocomia aculeata*) revelou que o mesocarpo dos frutos apresentou teores variando de 52,36% a 66%, enquanto a amêndoa apresentou valores entre 37,86% e 49,98%. O autor avaliou tanto frutos maduros quanto imaturos, e constatou que os frutos maduros apresentaram um maior teor de óleo em comparação aos imaturos.

Soletti (2016) considerando o tempo de extração (3 e 6h), associando a utilização de dois solventes (Hexano - HEX e Isopropanol – ISO) e método de extração (Soxhlet padrão - SP e Extração contínua - EC) em *Acrocomia intumescens*, obteve-se sempre maior teor médio de óleo, com maior tempo de extração variando de 33,40% a 38,51%. Os dois tratamentos com resultados superiores foram a combinação 6h-HEX-SP, com teor médio de óleo de 36,33% e 6h-ISO-EC, com 38,51%.

Os rendimentos de extração observados no presente trabalho foram mais modestos, o que pode ser atribuído a uma combinação de fatores. No estudo de Soletti (2016) aponta dois fatores principais que podem interferir em respostas. Primeiramente, o método de extração, no caso desse trabalho o uso do Bligh & Dyer, embora eficiente para análise, tende a apresentar rendimentos inferiores comparado a métodos otimizados para produção em larga escala, como Soxhlet, PLE ou EAU. Em segundo lugar, fatores intrínsecos à matéria-prima, como variabilidade genética, estágio de maturação, condições ambientais e manejo pós-colheita, influenciam diretamente o teor de óleo e, consequentemente, o rendimento final da extração.

Já no estudo de Souza (2013) sobre a pós-colheita de macaúba em Itaum-MS fornece informações relevantes para o presente trabalho. O autor demonstrou que o teor lipídico da polpa alcançou seu máximo após 11 dias de permanência dos frutos no campo. Concomitantemente, a atividade da lipase apresentou um declínio entre o 6º e o 26º dia, tendendo à estabilidade após esse período. Essa dinâmica entre tempo pós-colheita, atividade lipolítica e teor de lipídios pode ser um dos fatores que influenciam os resultados observados neste estudo.

Portanto, embora os resultados indiquem um potencial de produção de óleo nas populações estudadas, especialmente no Sítio C, eles também ressaltam a ampla variabilidade existente em populações naturais e a importância da otimização dos métodos de extração e do manejo pré e pós-colheita para alcançar rendimentos mais próximos aos potenciais máximos reportados para a espécie. Estudos futuros poderiam explorar métodos de extração alternativos e avaliar a composição dos ácidos graxos para melhor caracterizar o potencial bioenergético dessas populações do Tocantins.

6. CONCLUSÃO

O estudo dos Sítios Experimentais A, B, C e D evidenciaram diferenças significativas nas características populacionais e produtivas da macaúba (*Acrocomia aculeata*), determinadas por fatores ambientais e fenológicos. O Sítio A (Palmas) destacou-se pelo maior número de indivíduos, densidade populacional e estoque de carbono, sendo uma área de elevado potencial para manejo sustentável e mitigação climática. O Sítio C (Lajeado) apresentou a maior proporção de mesocarpo e rendimento em óleo, consolidando-se como o mais promissor para aproveitamento econômico. Em contrapartida, o Sítio D (Aparecida do Rio Negro), com baixa densidade e menor estoque de carbono, reflete um cenário de pastagem que demanda intervenções para sua recuperação e maior eficiência no uso dos frutos.

A produção de frutos e inflorescências, o desenvolvimento biométrico dos indivíduos e a capacidade de sequestro de carbono variaram conforme as condições locais. Essas diferenças reforçam a necessidade de estudos contínuos para aprofundar o entendimento sobre o potencial da macaúba em sistemas produtivos, estratégias de recuperação ambiental e conservação de áreas nativas, especialmente no bioma Cerrado, onde a espécie demonstra relevante contribuição socioeconômica e ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACELEN. **Site oficial da Acelen**. 2024. Disponível em: <<https://www.acelen.com.br/a-acelen/>>. Acesso em: 15 dez. 2024.

ALCÂNTARA, M. A. M. **Caracterização bioquímica em sementes de uma população natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.** 2016. 43 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2016.

ALFARO-SOLÍS, J. D.; MONTOYA-ARROYO, A.; JIMÉNEZ, V. M. et al. *Acrocomia aculeata* fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. **Agroforest Syst**, Londres, v. 94, n. 05, p. 1913–1927, jun. 2020. <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10457-020-00511-8>

ALMEIDA, F. A.; CÉSAR, A. S.; BATISTA, A. P. Potencial para produção de biodiesel. **AgroAnalysis**, São Paulo, v. 34, n. 02, p. 29, fev. 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/31367>>. Acesso em: 25 abr. 2023

ALVES, G. C. **Caracterização morfo-agronômica de maciços naturais das palmeiras Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart.) e Bocaiúva (*Acrocomia totai* Mart.).** 2022. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2022.

ALVES, J. A.; CARVALHO, D. A. A família Arecaceae (palmeiras) no município de Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 163-170, jun. 2010.

AMPESE, L.C.; BULLER, L.S.; MONROY, Y.M.; GARCIA, M.P.; RAMOS-RODRIGUEZ, A.R.; FORSTER-CARNEIRO, T. Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. **Biomass Conv. Bioref.** Heidelberg, v. 1, p. 1-19, mar., 2021. Disponível em: <<https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13399-021-01376-2>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Site oficial da ANP.** 2020. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br> >. Acesso em: 15 jan. 2022

AOQUI, M.C. **Caracterização do óleo da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e azeite de oliva (*Olea europaea* L.) virgem extra e seus efeitos sobre dislipidemia e outros parâmetros sanguíneos, tecido hepático e mutagênese em ratos wistar.** 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco, Mato Grosso do Sul, 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, Bélgica, v. 10, p. 6141-6160, out. 2013.

AVALOS, G.; CAMBRONERO, M.; ALVAREZ-VERGNANI, C. Allometric models to estimate carbon content in Arecaceae based on seven species of neotropical palms. **Frontiers in Forests and Global Change**, Hawthorn, v. 5, p. 867912, jul. 2022.

BARBOSA, M. A. M. **Ecofisiologia, frutificação e produtividade da macaúba**: um estudo sobre a influência de fatores ambientais e práticas agrícolas. 2021. 154 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.

BARLETO, E. A. **Respostas ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius ao déficit hídrico sazonal e a disponibilidade de nutrientes**. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas, Brasília, 2011.

BARROS, J. F. C. **Fertilidade do solo e nutrição das plantas**: texto de apoio para as unidades curriculares de sistemas e tecnologias agropecuários e noções básicas de agricultura (para uso dos alunos). Évora: Universidade de Évora, 2020.

BATISTA, C.E. et al. Monitoramento da composição em ésteres do biodiesel do óleo de amêndoa da macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) em contato direto com o aço carbono e o aço carbono galvanizado. **Química Nova**, São Paulo, v.42, n.4, p.387-396. Maio, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422019000400387&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 abr. 2020.

BHERING, L. **Macaúba: matéria-prima nativa com potencial para a produção de biodiesel**. Embrapa Agroenergia (CNPAAE), 2009.

BERTON, L. H. C. **Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013. 154 f. Tese (Doutorado - Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico. Campinas, 2013.

BERTON, L. H. C.; AZEVEDO FILHO, J. A. de; SIQUEIRA, W. J.; COLOMBO, C. A. Seed germination and estimates of genetic parameters of promising macaw palm (*Acrocomia aculeata*) progenies for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 51, p. 258-266, nov. 2013.

BESSEN, M.; HENRIQUE, R.; RIGO, A. N. T.; SEIKI, G.; PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 429-439, jul. 2018.

BICALHO, E. M.; ROSA, B. L.; SOUZA, A. E.; RIOS, C. O.; PEREIRA, E. G. Do the structures of macaw palm fruit protect seeds in a fire-prone environment? **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 540-548, out. 2016.

BORGES, C. E.; SANTOS, J.C.B. dos; EVARISTO, A. B. et al. Distribution and future projection of potential cultivation areas for *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) worldwide: the emerging energy culture of the tropics. **Theor Appl Climatol**. Austria, v. 146, p. 1069–1078. Set. 2021. <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00704-021-03788-6>

BRASIL. Lei nº13.263, de 23 de março de 2016. Dispõe sobre percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da União** de 24/03/2016 (p. 1, col. 1). Brasília, 2016.

BRITO NETO, R. L.; BARRETO, P. A. B.; PRADO, W. B. Utilização de aplicativo telemóvel para medição da altura total de árvores. In: IV SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL DA BAHIA, 4., 2016, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista: UESB, 2016. p. 1-7.

BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T.; SOUSA, I. J. A.; SOUSA, R. N. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, Palmas, v. 5, n. Especial, p. 114-124, out.2018.

CALDEIRA, M.V.W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 194 f. Tese (Doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2003.

CALERA, G.C. **Produção de biodiesel por hidroesterificação de óleo de frango e óleo bruto de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2018, 103 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2018.

CÁRDENAS, D. A. V. **Produção de biodiesel de óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*) via hidroesterificação**. 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímicas) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CARDOSO, A.; LAVIOLA, B.G.; SANTOS, G.S.; SOUSA, H.U.; OLIVEIRA, H.B.; VERAS, L.C.; CIANNELLA, R.; FAVARO, S.P. Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 107, n 15. p. 573-580. nov. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017302534>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

CARDOSO, A. N.; RODRIGUES, T. O.; SANTOS, G. S. Inventário do ciclo de vida do óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 9., 2016, Natal, RN. Anais. Lavras: UFLA, 2016., 2016.

CARVALHO, A. M.; QUINTANA, L. G.; SOUZA, A. M. de; COSER, T. R.; SOUSA, T. R. de; OLIVEIRA, A. D. de; RAMOS, M. L. G. Decomposition, biochemical composition and nutrient cycling of macauba palm in a Cerrado Entisol. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 81, p. e20220266, abr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0266>

CARVALHO, J. E. U; NAZARÉ, R. F. R.; NASCIMENTO, W. M. O. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) com rendimento industrial superior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, p. 326-328, agos. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200036>

CARVALHO, K. J.; SOUZA, A. L.; MACHADO, C. C. **Ecologia, manejo, silvicultura e tecnologia da macaúba**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. Disponível em: <http://www.cecs.unimontes.br/images/Especiais/Agroextrativismo/Macauba/CARVALHO_ET_AL_Ecologia_manejo_silvicultura_e_tecnologia_da_macauba.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2021.

CASTRO, C.A.O.; RESENDE, R.T.; KUKI, K.N.; CARNEIRO, V.Q.; MARCATTI, G.E.; CRUZ, C.D.; MOTOIKE, S.Y. High-performance prediction of macauba fruit biomass for agricultural and industrial purposes using Artificial Neural Networks. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 108, pg. 806-813. Dez. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017304946>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CASTRO, R. M. **Serviços ecossistêmicos de palmeira nativa “macaúba” (*Acrocomia aculeata*)**. 2023. 174 f. Tese (Doutorado Biodiversidade e Conservação da Natureza) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, Juiz de Fora, 2023.

CÉSAR, A.S.; ALMEIDA, F.A.; SOUZA, R.P.; SILVA, G.C.; ATABANI, A.E. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Lemesos, v.49, n. 1, p. 1213-1220, set. 2015.

CIDIN, A.C.M. **Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição de mitigação de emissões de gases de efeito estufa**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente)- Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

COELHO, R.M.; COSTA, C.F.; AZEVEDO-FILHO, J.A.; BERTON, L.H.C.; COLOMBO, C.A. Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Agroforestry Systems**, Londres, v. 93, n. 3, p. 771-782, jun. 2017. DOI: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10457-017-0173-7>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-017-0173-7>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; DIAZ, B. G.; FERRARI, R. A. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL. Les Ulis**, França, v 25, n. 1, p. 1-9 , ago. 2017.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; AZEVEDO-FILHO, J. A.; CARVALHO, C. R. L.; HERNANDEZ, B. G. D.; Siqueira, W. J. Macaúba: múltipla e sustentável. **O Agrônomo**. Campinas, v 68, jun. 2016. Disponível em < <http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=21>>. Acesso em: 25 abr. 2020

COPPEL, I A. F.; EVARISTO, A. B.; GUIMARÃES, A. C.; GIL, J. M.; GRACIA, L. M. N.; RAMOS, P. M. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: A promising crop for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 125, p. 556-566. Set. 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.036. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669018308410>. Acesso em: 26 dez. 2021.

COSTA, D. A. N. **Estudo do processo de extração do óleo da macaúba (*Acrocomia intumescens*)**. 2016. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2016.

COSTA, J.M.C.; OLIVEIRA, D.M.; COSTA, L.E.C. Macauba Palm – *Acrocomia aculeata*. In: RODRIGUES, S.; EBENEZER, O.S.; BRITO, E.S. **Exotic fruits**. London: Academic Press, 2018. P 297-304.

COUTO, E. G. D. O., MORALES-MARROQUÍN, J., ALVES-PEREIRA, A., FERNANDES, S. B., COLOMBO, C. A., FILHO, J. A. D. A., ZUCCHI, M. I. Genome-Wide Association Insights into the Genomic Regions Controlling Oil Production Traits in *Acrocomia aculeata* (neotropical native palm). *bioRxiv*, Whashington, v. 01, n 17, abr. 2024. Doi: <https://doi.org/10.1101/2024.01.17.576138>.

CRUZ A. V. C.; ALENCAR, N. L.; ALMEIDA, A. L. S.; LOPES, C. G. R. Aspectos que influenciam a escolha de locais de coleta por extrativistas de macaúba no Cerrado brasileiro. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v. 10, n. 3, p. 101-113. dez. 2021

DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MORAES, A.; BENTO, P. S. Cultivo da macaúba: ganhos ambientais em áreas de pastagens. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 52-60, 2011.

DOMINGUES NETO, E. G.; OLIVEIRA, A. H.; COSTA, A. L.; PEREIRA, M. A. Biodiesel production from Macauba oil aiming an alternative route for production. **4. SENCIR: Week On Nuclear Engineering And Radiation Sciences**, Belo Horizonte, p. 6-8, nov. 2018.

DIETRICH, Otto Herbert Schuhmacher. **Nutrição mineral da cultura da macaúba: curva de crescimento e sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes**. 2022. 139 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, Viçosa, MG. 2022.

DIETRICH, O.H. S. **Época de amostragem foliar e efeito de doses de nitrogênio e potássio em plantas adultas de macaúba**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2017.

EVARISTO, A. B.; FERNÁNDEZ-COPPEL, I. A.; GUIMARÃES, A. C.; GIL, J. M.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S.; GRACIA, L. M. N.; RAMOS, P. M. Simulation of macauba palm cultivation: an energy-balance and greenhouse gas emissions analysis. **Carbon Management**, Ahmedabad , v. 9, n. 3, p. 243-254, maio 2018. DOI: 10.1080/17583004.2018.1463783.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. M.; MARTINS A. D.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização Físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.8, n.2, p.81-92, out. 2017. DOI: 10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v8n2p81-92.

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 macauba palm as feedstock

for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 85, p. 18-24. fev. 2016. DOI: doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415301641>. Acesso em: 16 jan. 2022.

EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSSI, J. A. S. Energy potential of the macaw palm fruit residues and their use in charcoal production. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 571-577, abr.-jun., 2016a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/hvXGz7BjXWFQd4m3tDbQyhj/?lang=pt>. Acesso em: 23 nov. 2021.

EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSSI, J. A. S. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 85, p. 18-24, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.024>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/hvXGz7BjXWFQd4m3tDbQyhj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2021.

FARIA, G. **Caracterização morfoanatômica da planta, fruto, semente e plântula de Macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq Lodd. ex. Martius)]**. 2012. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/fitotecnia) - Universidade de Lavras, Lavras, 2012.

FAVARO, S. P., SMIDT, M. A., MIRANDA, C. H. B., DE OLIVEIRA LEAL, W. G., DE PAIVA CARVALHO, F. B., & RIVALDI, J. D. Aqueous extraction to high yield and quality of macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil. **Applied Food Research**, Canadá, v. 2, n. 1, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100060>

FAZIO, S.; MONTI, A. Life cycle assessment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 35, n. 12, p. 4868-4878. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.014>.

FERNANDES, A.; SALSIS, S.M.; FERNANDES, F.; CRISPIM, S. Estoque de carbono de estrato arbóreo de cerrados no Pantanal de Nhecolândia. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2008. (Comunicado técnico 68).

FERREIRA, E. A. B.; SA, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G.; MEIRELLES, M. L.; CARVALHO, A. M. Estimativa de sequestro de carbono numa população espontânea de palmeiras macaúba. **Anais do 8º Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo – SP, nov. 2013

FIGUEIREDO, E., CAIRO, F., SILVEIRA, S., DANTAS, R., & FLEITAS, J. Extração do óleo da polpa e da amêndoa da macaúba utilizando solventes e por prensagem. In 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. **Anais...UBRABIO**, Natal, Rio Grande do Norte, 22 a 25 de novembro de 2016. (pp. 407–408).

FRANCO, W. C. G. **Frequência de queda e avaliação do uso de coletor na conservação pós-colheita de frutos de macaúba**. 2019. 50 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

FRANCO, V. S. F.; ZIMPEL, J. Projeto Macaúba—Introdução de sistema silvipastoril inovador no cerrado brasileiro para a produção de óleos vegetais sustentáveis. CEPAL: Nações unidas. 2020, 12 p. Disponível em: <https://archivo.cepal.org/pdfs/bigpushambiental/Caso65-ProjetoMacauba.pdf>. Acesso em 22 de julho de 2022.

GERPEN, J.V. Biodiesel Processing and Production. **Fuel Processing Technology**, Bilbao, v. 86, n. 10, p 1097-1107. jun. de 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382004001924>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

GOUVÊA, A. R. **Uma visão estratégica do setor de distribuição de energia elétrica frente aos desafios da expansão de recursos energéticos distribuídos no Brasil**. 2019. 108f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) — COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GUO, M; SIMMONS, C.R. Cell number counts—The fw2.2 and CNR genes and implications for controlling plant fruit and organ size. **Plant Science**, Santa Fé, v.181, n.1–7. Jul. 2011. <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.plantsci.2011.03.010>

HAIDAR, R. F.; DIAS, R. R.; PINTO, J. R. R. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (Seplan). Departamento de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins**: regiões fitoecológicas da faixa centro. Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, v. I. 2013.

HAIDAR, R. F. et al. Guia para restauradores de savanas e florestas no bioma Cerrado do Tocantins: identificação de sementes e plântulas de espécies arbóreas. 1. ed. Palmas: **RestauraTO**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333_516396. Acesso em: 23 jun. 2024.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.28, n 2, p. 153-166, jun.1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/vk3TPF6vZPXpvvdqCN7Y3WF/?lang=pt>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Terrain slope classes and potential for mechanization to coffee plantation in the state of Paraná. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 195-203, mai. 2015. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/833>. Acesso em: 21 jan. 2022.

IEA. **Energy Technology Perspectives**. Paris, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro, 2012. 271 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Manual técnico de pedologia: guia prático de campo**. IBGE: Rio de Janeiro, 2015. 134 p.

IMAFLOA. Carbon Sequestration of INOCAS Macauba Plantations in Brazil. 1. ed. Piracicaba: Imaflora, 2020. Disponível em: <https://www.inocas.com.br>. Acesso em: 09 jun. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf. Acesso em: 25 jun. 2023

JUNQUEIRA, N. T. V. CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. DA ANTONIASSI, R. BRAGA, M. F. MALAQUIAS, J. V. . Caracterização de populações naturais de macaúba e avaliação do potencial produtivo. Embrapa Cerrados-Documents (INFOTEC-A-E), Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2019. 32 p.

JUNQUEIRA, N.T.V.; FAVARO, S.P.; BRAGA, M.F.; CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S.; ANTONIASSI, R.; CICONINI, G.; DA SILVA, D.B. *Acrocomia* spp. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (Eds.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - Região Centro-Oeste. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016, cap. 5, pp. 119-137

KAHN, F.; CASTRO, A. The Palm community in a forest of Central Amazonia, Brazil. **Biotropica**, Minnesota. v. 17, n.3, p. 210-216. Set. 1985. DOI: doi.org/10.2307/2388221. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2388221>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

LANES, E.C.M. de, COSTA, P.M.A., MOTOIKE, S.Y. Alternative fuels: Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**, Wenzhou, v. 511, n.7507, p 31-32. jul. 2014.

LANES, E.C.M.; MOTOIKE, S.Y.; KUKI, K.N.; NICK, C.; FREITAS, R. D. Molecular characterization and population structure of the macaw palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), ex situ germplasm collection using microsatellites markers. **Journal of Heredity**, Seattle, v. 106, n. 1, p. 102-112, fev. 2015.

LANES, E.C.M.; MOTOIKE, S.Y.; KUKI, K.N.; RESENDE, M.D.V.; CAIXETA, E. T. Mating system and genetic composition of the macaw palm (*Acrocomia aculeata*): implications for breeding and genetic conservation programs. **Journal of Heredity**, Seattle, v. 107, n. 6, p. 527-536, nov. 2016. DOI: doi.org/10.1093/jhered/esw038. Disponível em: <https://academic.oup.com/jhered/article/107/6/527/2622893?login=true>. Acesso em 10 dez. 2021.

LEAL, J.M.; AQUINO, C.M. S.; SILVA, F. J. L.T. Uso do mapa de Declividade e do Modelo Digital de Elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuio–Piauí. **Revista de Geociências do Nordeste**, Itabuna, v. 5, n. 2, p. 97-107, out. 2019.

LIMA, N. E.; CARVALHO, A. A.; MEEROW, A.W.; MANFRIN, M. H. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity & Evolution**, Áustria, v. 18, p. 151–161, mar. 2018. DOI:<https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13127-018-0362-x>. Acesso em: 14 out. 2021.

LIMA, N.E; MEEROW, A.W; MANFRIN, M.H. Genetic structure of two *Acrocomia* ecotypes (Arecaceae) across Brazilian savannas and seasonally dry forests. **Tree Genetics & Genomes**, Verlage, n. 16 ,p. 56, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01446-y>

LOPES, A. S., PACHECO, T. G., NIMZ, T., VIEIRA, L. N., GUERRA, M. P., NODARI, R. O., ROGALSKI, M. The complete plastome of macaw palm [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] and extensive molecular analyses of the evolution of plastid genes in Arecaceae. **Planta**, Bonn, v. 247, n. 4, p. 1011-1030, jan. 2018.

LOSCHI, R. A., PEREIRA, J. A. A., MACHADO, E. L. M., CARLOS, L., GONZAGA, A. P. D., CARMO, I. P., & GOMES, D. J. S. Variações estruturais e ambientais em um contínuo de mata de galeria/cerrado stricto sensu em Itumirim, MG. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 213-227, jun. 2013.

LORENZI, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira**. Arecaceae (palmeiras). Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010. 384p.

MACHADO, C. **Manejo e Conservação Genética In Situ, *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd.ex Mart. No Pontal Do Paranapanema**. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, 2018.

MACHADO, W.; GASPARETTO, A. C.; MORIMOTO, L. S. B.; GUIMARÃES, M. de F. Desenvolvimento Radicular de Macaúba (*Acrocomia aculeata*) em Dois Solos. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 143–147, Dez. 2018. DOI: 10.17921/1415-6938.2018v22n3p143-147. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/view/5012>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MADEIRA, D.D. C. **Diversidade e seleção de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) baseadas em atributos do óleo e de produtividade**. 2021, 82 f. Tese (doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2021.

MAGALHÃES, K. T.; TAVARES, T. S.; GOMES, T. M. C.; NUNES, C. A. Multi-target response surface optimization of the aqueous extraction of macaúba kernel oil. **Grasas Y Aceites**, Sevilha, v. 71, n. 4, dez. 2020. Doi: 10.3989/GYA.0788191

MALAQUIAS, J. V.; CONCEIÇÃO, L. D.; BRAGA, M. F.; JUNQUEIRA, N. T. V. Macauba production estimated by regression models. Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE), **Científica**, Jaboticabal, v.47, n.4, p.419-425, jun. 2019.

MANFIO, C.E.; MOTOIKE, S.Y.; SANTOS, C.E.M.; PIMENTEL, J.D.; QUIROZ, V.; SATO, A.Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 1, p. 70-76. jan. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/zTxVjsFXPCxHCyyjwjGmVQk/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 26 dez.2021.

MATIAS G. A.; MOTTA, M. A. S. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. **Eng Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, pg 677–89, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190108>

MEDEIROS, T. D. S.; CANTUÁRIA, P. de C.; SILVA, B. M. da S.; SILVA, R. B. L. E. Checklist of palm trees (Arecaceae Bercht. & J. Presl) from the State of Amapá, Brazil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 4, pág. e21311427038, mar. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27038.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

MONTOYA, S.G. **Ecofisiologia e produtividade de Brachiaria decumbens em sistema silvipastoril com macaúba**. 2016. 102 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Departamento de Fitotecnia - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2016.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**. Bonn, v. 244, p. 927–938, jun, 2016. <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00425-016-2558-7>

MONTOYA, S.G.; MOTOIKE, S.Y.; KUKI, K.N. Viability of a macaúba palm–*Brachiaria* grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. **Agronomy for Sustainable Development** Avignon, v. 41, n.55, jul 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00701-3>

MOREIRA, J. D. B. D. de; REZENDE, D. B.; PASA, V. M. D. Produção de biocombustíveis drop-in a partir do óleo ácido de macaúba via desoxigenação catalítica utilizando catalisador de cobalto suportado em carvão ativado. In: 1 CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE BIOQUEROSENE E IDROCAEBONETOS RENOVÁVEIS PARA AVIAÇÃO. **Anais...** Natal – RN. nov 2019.

MOREIRA, S. L. S. **Acúmulo de biomassa e carbono em cultivo de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2019. 57 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

MOREIRA, S. L. S.; IMBUZEIRO, H. M. A.; DIETRICH, O. H. S.; HENRIQUES, E.; FLORES, M. E. P.; PIMENTEL, L. D.; FERNANDES, R. B. A. Root distribution of

cultivated macauba trees. **Industrial crops and products**, Montana, v. 137, p. 646–651, out. 2019.

MOREIRA, S. L. S.; IMBUZEIRO, H. M. A.; SANTOS, R. A. F.; SILVA, G. C. C.; LEITE, H. G.; PIMENTEL, L. D.; FERNANDES, R. B. A. Carbon accumulation in cultivated macauba trees can be estimated and projected using allometric equations. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 226, p. 1-7, abr. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120682>.

MOREIRA, S. L. S.; IMBUZEIRO, H. M. A., SILVERT, C., DIETRICH, O. H. S., PIMENTEL, L. D.; FERNANDES, R. B. A. Above- and below-ground carbon accumulation in cultivated macauba palm and potential to generate carbon credits. **Journal of Cleaner Production**, Indianápolis, v. 265, p. 121628, ago. 2020.

MOREIRA, S. L. S.; SANTOS, R. A. F. dos; PAES, E. C.; BAHIA, M. L.; CERQUEIRA, A. E. S.; PARREIRA, D. S.; IMBUZEIRO, H. M. A.; FERNANDES, R. B. A. Carbon accumulation in the soil and biomass of macauba palm commercial plantations. **Biomass and Bioenergy**, Montana, v. 190, p. 107384, nov. 2024.

MOTTA, P. E. F. D.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; GOMES, J. B. V. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1023-1031, jul. 2002.

MOTA, C.S.; CORRÊA, T.R.; GROSSI, J.A.S.; CASTRICINI, A.; RIBEIRO, A.S. Exploração sustentável da macaúba para a produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.32, n.265, p.41-51, nov./dez. 2011.

MOTOIKE, S.Y.; KUKI, K.N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, Bulgária, v.1, n.6, p.632-635. Jan. 2009.

MOTOIKE, S. Y.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUKI, K. N.; PAES, J. M. V.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 61 p.

MOTOIKE, Sérgio Yoshimitsu; HILGER, Thomas (orgs.). **Macaúba: do plantio à colheita**. São Paulo: Oficina de Textos, 2024. E-book. ISBN 9788579754005

MOURA, E. F. **Embriogênese somática em macaúba: indução, regeneração e caracterização anatômica**. 2007. 66 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

MOURA, R. C.; LOPES, P. S. N.; BRANDÃO-JÚNIOR, D. S.; GOMES, J. G.; PEREIRA, M. B. Biometria de frutos e sementes de *Butia capitata* (Mart.) *Beccari* (Arecaceae), em vegetação natural no Norte de Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotropical**, São Paulo, v. 10, n.2, p. 415-419. jun. 2010. DOI: doi.org/10.1590/S1676-06032010000200040. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bn/a/9hbvpLRZ96hFmjZqXHSzHw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

NASCIMENTO, J.S. **Estudos multidisciplinares em arranjos agroflorestais biodiversos na região sudeste de Mato Grosso do Sul**. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, Universidade Federal de Grande Dourados. Dourados, 2016.

NASCIMENTO, W. G. **Composição bromatológica e coeficientes de hidrólise enzimáticas de resíduos da palmeira macaúba**. 2019. 35 f. Monografia (Graduação Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2019.

NAVARRO-DÍAZ, H. J.; GONZALEZ, S. L.; IRIGARAY, B.; VIEITEZ, I.; JACHMANIÁN I.; HENSE H.; OLIVEIRA, J. V. Macauba oil as an alternative feedstock for biodiesel: characterization and ester conversion by the supercritical method. **Journal of Supercritical Fluids**, Marseille, v. 93, p. 130–137, nov. 2014. DOI: doi.org/10.1016/j.supflu.2013.11.008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896844613003720>>. Acesso em: 6 nov. 2023.

NOBRE, D. A. C.; DAVID, M. S. S.; MAIA, V. M.; RESENDE, J. C. F.; NOBRE, E. C. Caracterização morfométrica de uma população natural de macaúba no norte de Minas Gerais. **Energia Agrícola**, Botucatu, v.30, p.290-293, nov. 2015.

NOBRE, D. A. C.; TROGELLO, E.; BORGHETTI, R. A.; DAVID, A. M. S. de S. Macaúba (*Acrocomia aculeata*): palmeira de extração sustentável para biocombustível. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 2, p. 92–105, mar. 2014.

NOVAES, R. F. **Contribuição para o estudo do coco macaúba**. 1952. 85 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1952.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

NUNES, A. P. **Estudo da macaúba (*Acrocomia aculeata*) como fonte de energia sustentável e obtenção de insumo para o setor farmacêutico**. 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

OLIVEIRA, A. I. T.; MAHMOUD, T. S.; NASCIMENTO, G. N. L.; SILVA, J. F. M.; PIMENTA, R. S.; MORAIS, P. B. Chemical composition and antimicrobial potential of palm leaf extracts from babaçu (*Attalea speciosa*), buriti (*Mauritia flexuosa*), and macaúba (*Acrocomia aculeata*). **The Scientific World Journal**, v. 5, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/973418>. Disponível em: <<https://downloads.hindawi.com/journals/tswj/2016/9734181.pdf>>. Acesso em: 22 nov 2021.

OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, M.; OLIVEIRA, M.; FROSI, G.; ARRUDA, E.; SANTOS, M. Ecophysiological leaf traits of native and exotic palm tree species under semi-arid conditions. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 128 – 134. fev, 2016.

OLIVEIRA, A. S. **Estoque de carbono de palmeiras arborescentes em diferentes tipos de florestas do ecótono norte da Amazônia brasileira**: efeitos das condicionantes ambientais. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2018.

OLIVEIRA, E. S.; BRAGA, A. R. S.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138868/1/Estoques-de-carbono-do-solo.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

OLIVEIRA, Z. R. C. R.; SANTOS, F. L.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; VELLOSO, N. S. Mechanical properties of the rachis from macaw palm bunches. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 40, n.1, ago. 2018. Disponível em:

<<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39504>>. Acesso em 09 nov. 2022.

OLIVEIRA, A. D. A. S.; ESTILIANO, E. O.; JESUS, N. de. Mapeamento e caracterização ambiental dos macaúba no Vale do Paraíba Paulista. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos... INPE**, 2023.

ORTEGA, J. R.; SOUSA, L. G.; OLIVEIRA, D. A. de; JÚNIOR, A. F. de M.; ROYO, V. de A.; MENEZES, E. V. Accessing the genetic diversity of natural populations of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) through microsatellites. **Revista Unimontes Científica**, v. 26, n. 2, 2024.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 204-220, ago.1990. DOI:

doi.org/10.1590/S0103-40141990000200010. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/ea/a/jNbF8gZjK8MDMhL6PhjqNFC/?format=pdf&lang=pt>>.

Acesso em: 03 jan. 2024.

PEDRO, C. M.; SILVA, F. de C. S.; BATISTA, A. C.; VIOLA, M. R.; BUENO, M. C.; GIONGO, M. Supplying and decomposition of burlap in a fragment of cerrado sensu stricto. **Floresta**, Curitiba, v. 49, p. 237-246, abr./jun 2019

PETERS C. M. **Sustainable harvest of non-timber plant resources in Tropical moist forest: an ecological primer**. World Bank Technical Paper n. 322, The New York Botanical Garden, Washington, 48p.

PETERSEN, V. R. D. S. **Aspectos ambientais da macaúba (*Acrocomia aculeata*): adequabilidade edafoclimática e valoração da fixação de carbono no Brasil**. 2023. 69 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 2023.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 44, p. 200-210, jan. 2013. DOI:

[oi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.029](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.029). Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901200578X>>. Acesso em: 19 out. 2024.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; PEDROSO NETO, J. C. Recomendação de adubação e calagem para o

cultivo da macaúba: 1ª. aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 20-30, 2011.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, E. C.; SANTOS, R. C. Effect of nitrogen and potassium rates on early development of macaw Palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1671-1680, nov/ dez. 2015.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, E. C.; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, p. 235-244, mar/ abr. 2016.

PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. D. S.; PAES, J. M. V.; SATO, A. Y.; MOTOIKE, S. Y. Diversity in the genus *Acrocomia* and proposed subdivision of the species *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n.265, p-81-87. Abr. 2011

PIRES, T. P. **Diversidade genética, fisiológica e anatômica em populações de macaúba provenientes de diferentes biomas**. 2017. 100 f. Tese (doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Viçosa, MG, 2017.

PRATES-VALÉRIO, P.; CELAYETA, J. M. F.; CREN, E. C. Quality parameters of mechanically extracted edible macauba oils (*Acrocomia aculeata*) for potential food and alternative industrial feedstock application. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Áustria, v. 121, n. 5, p. 1800329, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800329>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ejlt.201800329>>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. de S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do "tauari" (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp.- Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, p. 31-44, mai. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/rxJVzbmhCPgqMyQLmV7ycdp/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso 29 jul. 2024.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1994. 65 p.

RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, B. C. et al. Importancia agroecológica del coyul (*Acrocomia mexicana* Karw. ex Mart.). **Estudios sociales**, los Andes, v. 21, n. 41, p. 95-113, jun. 2013.

RATTER, J.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. Analysis of the floreistic composition of the brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, Escócia, v. 60, n. 1, p- 57-109, mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960428603000064>.

RATUCHNE, L. C.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C.R.; SCHAMME, P. A. Estado da arte na quantificação de biomassa em raízes de formações florestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p- 450-462. Jul/set. 2016. DOI: [dx.doi.org/10.1590/2179-8087.131515](https://doi.org/10.1590/2179-8087.131515). Disponível em:

<<https://www.floram.org/article/10.1590/2179-8087.131515/pdf/floram-23-3-450.pdf>>.
Acesso em: 8 out. 2024.

RESENDE, M. D.; RESENDE Jr, M. F.; SANSALONI, C. P.; PETROLI, C. D.; MISSIAGGIA, A. A.; AGUIAR, A. M. et al. Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees. **New Phytologist**, Lancaster, v. 194, n. 1, p. 116-128, abr. 2012.

RESENDE, R. T. et al. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. **Industrial Crops and Products**, Montana, v. 154, p. 112749, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112749>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Ecologia e flora. Brasília: Embrapa, 2008. p. 151-222.

ROCHA, O. O coco macaúba. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 21, n.1, p. 345-358. 1946.

ROCHA, W. O.; PEREIRA, A. M.; SILVA, A. E.; FRAGA, J. A. Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. **Multitemas**, Campo Grande, v. 22, n. 51, p. 179-195, mai. 2017.

RODRIGUES, M. J. M. **Ocorrência de macaúba *Acrocomia aculeata* (Jacq). Lodd. ex Mart. Arecaceae, na microbacia do Ribeirão Marimbondo, Pontalina, Goiás**. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sociedade) - Câmpus Sudeste - Sede: Morrinhos, Universidade Estadual de Goiás, Morrinhos. 2018.

RODRIGUES, M. J. M.; CALIXTO, J.C. SOUSA, A.T. Ocorrência de macaúba *Acrocomia aculeata* (Jacq). Lodd. ex Mart. Arecaceae, na microbacia do Ribeirão Marimbondo, Pontalina, Goiás. In... V Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual de Goiás (CEPE/UEG): Ciência para redução de desigualdades. **Anais...** Anápolis-GO: CEPE, v. 5, 2018.

ROJAS, L. Q. et al. Importância da identificação taxonômica das plantas medicinais: Revisão narrativa. **Plantas Medicinais e Suas Potencialidades**, v. 1, n. 1, p. 82-91, jan. 2023. ISBN 978-65-5360-265-6

RONQUIM, C. C. **Dinâmica espaço temporal do carbono aprisionado na fitomassa dos agroecossistemas no nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. 52p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 63).

ROSA, A. C. S.; STEVANATO, N.; IWASSA, I.; GARCIA, V. A. S.; SILVA, C. Obtaining oil from macauba kernels by ultrasound-assisted extraction using ethyl acetate as the solvent. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22 p. DOI: 10.1590/1981-6723.19518

SALOMÃO, R. P.; NEPSTAD, D. C.; VIEIRA, I. C. G. Como a biomassa de florestas tropicais influi no efeito estufa? **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 21, p. 38-47. 1996.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 2 v. 1279 p.

SANT'ANA, C. T.; VEREDIANO, T. A.; GRANCIERI, M.; TOLEDO, R. C. L.; TAKO, E.; COSTA, N. M. B.; MARTINO, H. S. D.; BARROS, F. A. R. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil prevents adipogenesis, inflammation and oxidative stress in mice fed a high-fat diet. **Nutrients**, v. 15, n. 5 p. 1252, mar. 2023. doi: 10.3390/nu15051252.

SANTOS, J. S. Elaboração de mapas temáticos com estudantes do Ensino Médio através do QGIS. **Educitec**, Manaus, v.5, n. 12, p.288-300, dez. 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, S. K. R.; MELO, M. F. F.; FRANCISCON, C. H. Organização e informatização da carpoteca do INPA. **Anais... XVI Jornada de Iniciação Científica PIBIC CNPq**, FAPEAM. INPA Manaus, 2007.

SANTOS, L. A. P.; MIRANDA, S. C.; DO; SILVA NETO, C. M. Fitofisionomias do Cerrado: definições e tendências. **Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, p. 9 set. 2020.

SANTOS, L.; SANTOS, E.; FERREIRA, E. J. Estimativa da capacidade de estoque de biomassa e carbono da vegetação arbórea de um fragmento do Parque Urbano Tucumã, em Rio Branco, Acre. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, abr. 2013.

SANTOS, L. R.; SILVA, M. K. O.; SOUZA, A. C. L. Caracterização de solos do semiárido brasileiro com ocorrência de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. (macaúba). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 435-440. Mai. 2016.

SANTOS, W. R. dos. **Estimativa de acúmulo de carbono em macaúbas, a partir de imagens de drone e inteligência artificial**. 2025. 84f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia Digital) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2025.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J.D. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, Minnesota, v. 23, n.1, p. 12-22, mar.1991.

SILVA, C. A. A.; FONSECA, G. G. Brazilian savannah fruits: characteristics, properties, and potential applications. **Food science and biotechnology**, Seongbuk, v. 25, n. 5, p. 1225-1232, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0195-3>.

SILVA, I. C. C. **Uso de processos combinados para aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, J. de C. e; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **Ipef**, Piracicaba, v. 34, p. 31-34, dez.1986.

SILVA, S. D. A.; CASAGRANDE Jr., J. G.; MAGNANI, M. **Sistema de produção da mamona**. Sistemas de Produção, 11. 2007 (Versão eletrônica). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/introducao.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SILVA, L. N.; CARDOSO, C. C.; PASA, V. M. D. Production of cold-flow quality biodiesel from high-acidity on-edible oils—esterification and transesterification of macauba (*Acrocomia aculeata*) oil using various alcohols. **Bioenerg. Res.** Florida, v. 9, p. 864–873, abr. 2016. Disponível em: <<https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12155-016-9740-4>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SILVA, P. H. **Caracterização de *Acrocomia aculeata* e *Acrocomia totai* por meio de descritores agromorfológicos**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas. 2017.

SILVA, P. V.; RAMIRO, M. M.; IRIGUCHI, E. K.; CORRÊA, W. A.; LOWE, J.; CARDOSO, C. A.; MUZZI, R. M. Antidiabetic, cytotoxic and antioxidant activities of oil extracted from *Acrocomia aculeata* pulp. **Natural product research**, v. 33, n. 16, p. 2413–2416, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1446006>

SILVA, R. C. V. M.; SILVA, A. S. L.; FERNANDES, M. M.; MARGALHO, L. F. **Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica**. Brasília: Embrapa, 2014.

SILVA, P. H.; VIANNA, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; AZEVEDO FILHO, J. A. D.; COLOMBO, C. A. Divergência genética entre espécies de palmeiras *Acrocomia* Mart. baseada em descritores morfoagronômicos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 562–577, jun. 2021. EIA Energy in Agriculture. <http://dx.doi.org/10.17224/energagric.2020v35n4p562-577>.

SILVA, J. Q.; SANTOS, D. Q.; FABRIS, J. D.; HARTE, L. V. L.; CHAGAS, S. P. Light biodiesel from macaúba and palm kernel: properties of their blends with fossil kerosene in the perspective of an alternative aviation fuel, **Renewable Energy**, Lemesos, v. 151, p. 426–433, may 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.035>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119317161>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV. 2006. 278 p.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/do_c/1042994>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SOUZA, F. G.; ARAÚJO, F. F.; PAULO FARIAS, D.; ZANOTTO, A. W.; NERI-NUMA, I. A.; PASTORE, G. M. Brazilian fruits of Arecaceae family: an overview of some representatives with promising food, therapeutic and industrial applications. **Food Research International**, Antalya, v. 138, p. 109690, dez. 2020.

SOUSA, L. V. M. **Caracterização energética da macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2020. 72f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação de Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília- UnB. Brasília, 2020.

SOUZA, C. F. T. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2013.

SOUZA, G. K.; SCHEUFELE, F. B.; PASA, T. L. B.; ARROYO, P. A.; PEREIRA, N. C. Synthesis of ethyl esters from crude macauba oil (*Acrocomia aculeata*) for biodiesel production. **Fuel**, Shanxi, v. 165, p. 360-366. fev.2016. DOI: doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.068. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001623611501073X>>. Acesso em: 16 dez. 2023.

SOUZA, O. G. **Respostas de duas fitofisionomias de Cerrado *stricto sensu* ao distúrbio recorrente provocado por fogo, ao longo de três anos**. 2018. 48f. Dissertação (Mestrado de Biodiversidade, Ecologia e Conservação), Campus Universitário de Porto Nacional – Universidade Federal do Tocantins – UFT, Porto Nacional, 2018.

STEPHENSON, N. L.; DAS, A. J.; CONDIT, R.; RUSSO, S. E.; BAKER, P. J.; BECKMAN, N. G.; ZAVALA, M. A. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. **Nature**, Londres, n 507, p. 90–93. jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature12914>

STAHEL, W. A economia circular. **Nature**, v. 531, p. 435-438, 2016.

TAUFIQ-YAP, Y. H.; AHMAD FARABI, M. S.; SYAZWANI, O. N.; IBRAHIM, M. L.; MARLIZA, T. S. Sustainable production of bioenergy. In: GUPTA, A.; DE, A.; AGGARWAL, S.; KUSHARI, A.; RUNCHAL, A. (eds) **Innovations in sustainable energy and cleaner environment**. Green Energy and Technology. Singapore: Springer. 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-981-13-9012-8_24>. Acesso em: 2 dez.2023.

TEIXEIRA, D. A.; MOTTA, C. R. da; RIBEIRO, C. M. S.; CASTRO, A. M. de. A rapid enzyme-catalyzed pretreatment of the acidic oil of macauba (*Acrocomia aculeata*) for chemoenzymatic biodiesel production. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre, v. 53, p. 188-193, fev. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.12.011>

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TELES, H. de F. **Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Goiás. Goiás. 2009.

TELES, H. de F.; PIRES, L. L.; GARCIA, J.; ROSA, J. Q. S.; FARIAS, J. G.; NAVES, R. V. Ambientes de ocorrência natural de macaúba. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v, 41, n. 4, p.595–601, dez. 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.11851>

TOLÊDO, D. P. **Avaliação técnica, econômica e ambiental de macaúba e de pinhão manso como alternativa de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

TRENTACOSTE, E. R.; PUERTAS, C. M.; SADRAS, V. O. O. Effect of fruit load on oil yield components and dynamics of fruit growth and oil accumulation in olive (*Olea europaea* L.). **European Journal of Agronomy**, Florencia, v. 32, n. 4, p. 249-254, mai. 2010.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 175–180, 1994.

VIANNA, S. A. et al. Evaluación física y nutricional de los frutos de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd ex Mart. (*Arecaceae*) con base en el color de la pulpa. **Revista Biodiversidad Neotropical**, Goiânia, v. 5, n. 2, p. 89-95, jul/dez., 2015.

VIANNA, S. A.; BERTON, L. H. C.; POTT, A.; GUERREIRO, S. M. C.; COLOMBO, C. A. Biometric characterization of fruits and morphoanatomy of the mesocarp of *Acrocomia* species (*Arecaceae*). **International Journal of Biology**, v. 9, n. 3, p. 78-92. jun. 2017.

VIANNA, S. A.; CAMPOS-ROCHA, A. **Acrocomia in flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15662>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

VIANNA, S. A.; DOMENECH, H. L. M.; SILVA, R. H. D.; COLOMBO, C. A.; POTT, A. Morphological characterization and productivity estimates of *Acrocomia totai* Mart. (*Arecaceae*) – a sustainable alternative of extractivism and cultivation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 43. e-005, abr. 2021.

VIANA, R. **Nutrição foliar**. São Paulo: Dialética, 2024.

VIEIRA, W. T.; BISPO, M. D.; FARIAS, S. de M.; ALMEIDA, A. D. S. V. de; SILVA, T. L. da; VIEIRA, M. G. A.; BALLIANO, T. L. Activated carbon from macauba endocarp (*Acrocomia aculeata*) for removal of atrazine: experimental and theoretical investigation using descriptors based on DFT. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Singapura, v. 9, n. 2, e105155, abr. 2021.

VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L.; **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro** Região Centro-Oeste). Brasília: MMA, 2016. 1.160 p. (Série Biodiversidade, 44).

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).

VIROLI, S. L. M.; RODRIGUES, F. M.; SOUSA, P. J.; PEREIRA, P. V. D. Extraction and evaluation of macaúba almond oil (*Acrocomia aculeata*) collected in the parking of the Federal Institute of Tocantins - IFTO Campus Paraíso do Tocantins. In: VIROLI, S. L. M.

(org.) **Scientific Initiation**: stimulus for research and path to knowledge production. Belo Horizonte: Synapse Editora, 2021, 91 p.

WOORTMANN, C.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SILVA, R. Allometric equations for total, above - and below-ground biomass and carbon of the Amazonian forest type known as campinarana. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 48, p. 85-92. Abr/jun. 2018. DOI: 10.1590/1809-4392201700673.

XAVIER, M. C. J. **Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma unidade fitofisionômica de Cerrado no Centro-Oeste de Minas Gerais**. 2018. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2018.

WUL, Y.; GUO, Y.; LIU, L.; HUANG, N.; WANG, L. Trend analysis of variations in carbon stock using stock big data. **Cluster Comput**, Arizona, v. 20, p. 989–1005. Abr. 2017. DOI: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10586-017-0854-z>

APÊNDICE

Quadro 1 A – Áreas levantadas com populações de macaúba na região central do Estado.

Ponto/ Áreas	Coordenadas		Altitude (m)	Características	Município	Fotos
	Lat.	Long.				
MA 01	10°14'52" S	48°14'52" W	-	Palmeiral em Cerrado antropizado, em beira de estrada. E presença de capim e buritis. Espécies com presença de flores e frutos jovens. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	
MA 02	10°14'01" S	48°12'25" W	-	Palmeiral em beira de mata de galeria do córrego Taquaruçu Grade e em pastagem. Próximo a espécies de açaí, manga e banana. Espécies com presença de flores e frutos jovens. Em uma propriedade particular, Fazenda do Sr. Edilton, no km 13. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	

MA 03	10°13'17" S 48°09'59" W -	Palmeiral em encosta de morro. Relevo moderadamente íngreme. Com presença de capim. Espécies com presença de flores. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	
MA 04	10°00'27" S 48°03'57" W -	Palmeiral em Cerrado, em beira de estrada. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	

MA 05	09°59'53" S	48°03'17" W	379	Palmeiral em pastagem, em beira de estrada. Relevo levemente íngreme. Espécies com presença de flores. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	
MA 06	09°59'53" S	48°03'17" W	344	Palmeiral em pastagem, em beira de estrada. Visitada no dia 09 de dezembro de 2020.	Aparecida do Rio Negro	

MA 07	10°21'33" S 48°13'43" W 290	Palmeiral em Cerrado stricto sensu, em formações rochosas. E presença de capim. Espécies com presença de flores e frutos. Visitada no dia 11 de dezembro de 2020.	Palmas 
MA 08	10°22'12" S 48°12'11" W 240	Palmeiral em beira de pastagem, em cerrado. Espécies com presença de flores. Visitada no dia 11 de dezembro de 2020.	Palmas 
MA 09	10°21'33" S 48°10'50" W 282	Palmeiral em pastagem (Braquiária). Com presença de espécies de coco babaçu. Espécies com presença de flores. Próximo ao Assentamento Mariana. Visitada no dia 11 de dezembro de 2020.	Palmas 

MA 10	10°17'03" S 48°17'14" W -	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em pastagem, com a presença de mais de 20 plantas, com altura superior a 8m. Espécies não apresentaram flores e frutos. Visitada no dia 22 de janeiro de 2021.	Palmas 
MA 11	- - -	Predominância de relevo ondulado, mesclado com áreas planas. Presença de macaúba em área original e antropizada. Espécies com presença de flores em poucas plantas. Próximo ao Campus UniCatólica. Visitada em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 

MA 12	10°17'01" S 48°16'53" W -	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em pastagem, com a presença de mais de 15 plantas, com altura superior a 8m. Não observou a presença de flores e frutos. Visitada em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 
MA 13	10°20'05" S 48°16'34" W -	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba, com a presença de mais de 30 plantas, com altura superior a 8m, em área de APP. Não observou a presença de flores e frutos. Visitada em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 
MA 14	10°19'45" S 48°16'09" W -	Relevo predominantemente plano com declividade suave, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba, com a presença de mais de 40 plantas, com altura superior a 8m em área urbana e com pastagem. Espécies com presença de flores em poucas plantas. Visitada em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 

MA 15	10°18'39" S	48°09'52" W	-	Relevo predominantemente com declividade ondulada, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba, com a presença de mais de 40 plantas, em área nativa. Não observou a presença de flores e frutos. Aparentemente existem duas espécies distintas. Distrito de Taquaruçu. Visitada em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 
MA 16	10°18'39" S	48°10'54" W	-	Relevo muito acentuado (morro), com a presença de mais de 40 plantas no alto do morro, com predomínio à esquerda de babaçu. Não observou a presença de flores e frutos, pois estava muito distante. Visitada no em 22 de janeiro de 2021.	Palmas 
MA 17	09°59'39" S	48°18'57" W	230	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em pastagem e em cultivos agrícolas com a presença de mais de 30 plantas, com altura superior a 8m. Espécies com a presença de frutos novos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021.	Lajeado 

MA 18	09°59'39" S 48°18'57" W 230	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa com a presença de mais de 15 plantas, com altura superior a 6 a 7 m. Espécies com a presença de frutos novos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021.	Lajeado	
MA 19	09°58'15" S 48°19'02" W 310	Relevo predominantemente acidentado e declivoso (subida da serra), com afloramento de rochas, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa e pastagem com a presença observada em campo visual de cerca de 10 plantas, com altura superior a 6 a 7 m. Não observou a presença de frutos novos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021.	Lajeado	
MA 20	- - -	Relevo predominantemente plano nessa faixa de ocorrência, que está localizada ao sopé da Serra do Carmo. Observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa, com a presença de mais de 30 plantas, com altura superior a 8m. Na TO-10. Não foi possível verificar a presença de frutos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021.	Lajeado	

MA 21	-	-	-	Relevo refere-se à Serra do Carmo. Observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa, com a presença de mais de 50 plantas. Na TO-010. Não foi possível verificar a presença de frutos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021. Lajeado 
MA 22	-	-	-	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa com a presença de mais de 20 plantas, com altura superior a cerca de 6 m. Espécies: com presença de frutos verdes na planta e maduros no chão. Notou-se visualmente, possivelmente tipos diferentes de plantas. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021. Lajeado 
MA 23	-	-	-	Relevo predominantemente plano, ao sopé da serra, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa associada a pastagem com a presença de mais de 20 plantas, com altura superior a cerca de 6 a 8 m. Espécies: com presença de frutos em uma planta, não sendo verificado nas demais plantas, devido à distância. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021. Lajeado 

MA 24	09°43'40" S 48°21'15" W 205	Relevo predominantemente plano em ambos os lados da rodovia, sendo que a faixa contínua da margem direita, refere-se ao sopé da Serra do Carmo. Observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em vegetação nativa, com a presença de mais de 50 plantas, com altura superior a cerca de 6 a 8 m. Não foi possível verificar a presença de frutos. Visitada no dia 06 de fevereiro de 2021.	Lajeado	
MA 25	09°49'05" S 48°19'24" W	Floresta Semidecidual Estacional com presença de Babaçu e Buritis. km 43 da rodovia Palmas/Lajeado-TO.	Lajeado	
MA 26	- - -	Relevo plano e conjunto de palmeiras de macaúba próximo da APP em Cerrado antropizado, em pastagem. Rodovia TO-050. Não observou a presença de flores e frutos. Visitada no dia 22 de dezembro de 2020.	Porto Nacional	

MA 27	10°56'18" S 48°18'57" W 240	Relevo predominantemente plano, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em pastagem, com a presença de mais de 20 plantas, com altura superior a 8m. Não observou a presença de flores e frutos. Visitada no dia 07 de fevereiro de 2021.	Porto Nacional 
MA 28	10°58'57" 48°17'31" 301	Relevo ondulado, onde observou-se uma ocorrência de palmeiras de macaúba em pastagem nativa e cerrado, com a presença de mais de 50 plantas, numa faixa aproximada de 400 m, com altura superior a 6m. Não se observou a presença de flores e frutos. Visitada no dia 07 de fevereiro de 2021.	Porto Nacional 