


POTENCIAL BIOENERGÉTICO DE POPULAÇÕES NATURAIS DE MACAÚBA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-495>

Data de submissão: 31/11/2024

Data de publicação: 31/12/2024

Adriele Cristina Santos

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agroenergia Digital (PPGAD-UFT)

Universidade Federal do Tocantins (UFT)

E-mail: sadriele1@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9159-1680>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1982380025540968>

Erich Collicchio

Pós - Doutor em Agrometeorologia e Mudanças Climáticas (UFV)

Docente do Mestrado em Agroenergia Digital (PPGAD-UFT)

Universidade Federal do Tocantins (UFT)

E-mail: ecollicchio@mail.uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3452-6249>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0722996667111812>

Guilherme Benko de Siqueira

Pós - Doutor em (UFV)

Docente do Mestrado em Agroenergia Digital (PPGAD-UFT)

Universidade Federal do Tocantins (UFT)

E-mail: guibenko@uft.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0572-2788>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3964828601706257>

RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*), por apresentar teores elevados de óleo nos frutos, possui um grande potencial bioenergético e oferece uma alternativa promissora para a produção de biocombustível e outros bioprodutos. Este trabalho teve com o objetivo de realizar uma caracterização ambiental e morfológica das populações nativas de macaúba na região central do Estado do Tocantins, bem como analisar seu potencial bioenergético. Para realizar o presente estudo, foram selecionados dois sítios experimentais a partir da identificação de 28 áreas potenciais com ocorrência natural de macaúba. O Sítio Experimental A, localizado no município de Lajeado caracteriza-se por uma região de vegetação natural tipo Cerrado denso, com altitude de 230 m. O Sítio Experimental B, encontra-se situado em Aparecida do Rio Negro, em área de pastagem extensiva e altitude de 390 m. A partir dessas áreas de coleta, foram efetuadas a caracterização ambiental da paisagem, do solo, morfológica e biométrica das populações de macaúba, assim como as análises para obter o teor de óleo dos frutos. Em cada sítio, selecionou-se 07 palmeiras feita a medição de altura, contagem do número de cachos e inflorescências e a identificação botânica da espécie. Coletou-se 2 kg de frutos de cada uma dessas palmeiras, os quais foram medidos, despolpados e em seguida analisou-se o teor de óleo do mesocarpo e do endosperma (Método Bligh; Dyer) expresso % base seca, e o tempo de extração (30 e 60 min.), para cada área. Os resultados apontaram que houve diferença significativa entre as duas áreas, quanto ao teor médio de óleo, indicando que a média do Sítio A (30,85%), foi superior à média no Sítio B

(20,73%). Não foi constada diferença significativa entre o teor de óleo do mesocarpo (26,08%) e o endosperma (25,50%), nem com relação ao tempo de extração.

Palavras-chave: Acrocomia. Cerrado. Teor de Óleo. Biocombustível.

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., 2023).

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., 2019).

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, há pouca informação técnica sobre a cultura e formas de utilização dos frutos (EVARISTO et al., 2017). Nesse cenário, é fundamental promover programas de melhoramento genético da macaúba, visando ao 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 parceiras, 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 espécies 10 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 METODOLOGIA

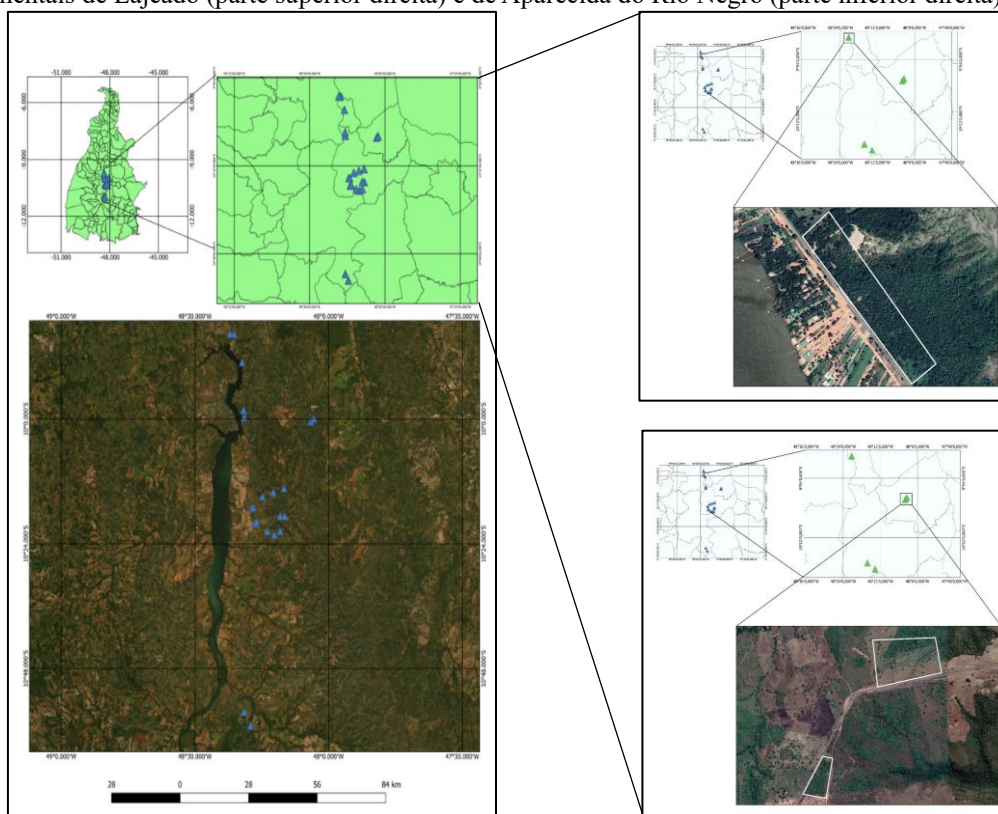
2.1 ÁREA DE ESTUDO

As áreas do estudo selecionadas encontram-se localizadas na região central do estado do Tocantins, delimitadas pelas coordenadas geográficas de 9°40'06"S a 11°20'69"S de latitude e 47°41'46"W a 48°50'33"W de longitude (Figura 1). Entre dezembro de 2020 e fevereiro de 2021, expedições de campo foram realizadas identificando-se, 28 áreas contendo populações naturais de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd). Posteriormente, no período de setembro de 2021 a maio de 2022, com base em critérios que incluam a representatividade regional e uma densidade mínima

de 50 plantas adultas por área, foram selecionados quatro áreas experimentais potenciais situadas nos municípios de Palmas, Lajeado e Aparecida do Rio Negro,

Para este estudo, do total de 28 áreas identificadas, foram escolhidos dois sítios experimentais, das quatro áreas experimentais pré-selecionadas. Partindo dos critérios de diferentes altitudes e usos do solo, o Sítio Experimental A, localizado em Lajeado, possui uma área de vegetação nativa de Cerrado denso e altitude de 230 m. Já o Sítio Experimental B, situado no município de Aparecida do Rio Negro, as macaúbas se desenvolvem em área com pastagem extensiva (Figura 1).

Figura 1. Região central do Estado, mostrando as áreas identificadas com ocorrências de populações de macaúba e os Sítios Experimentais de Lajeado (parte superior direita) e de Aparecida do Rio Negro (parte inferior direita).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Nesses Sítios Experimentais, foram efetuadas a caracterização detalhada do solo e do ambiente local, bem como análises morfológicas e biométricas das populações de macaúba. Foram realizadas medidas de altura das palmeiras, diâmetro à altura do peito (DAP), número de cachos e inflorescências, além de avaliações botânicas e determinação do teor de óleo dos frutos.

2.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E DO SOLO

A caracterização ambiental foi baseada na distribuição das populações de macaúba, com quatro pontos geográficos marcados via GPS em cada Sítio Experimental para delimitar as áreas de estudo em hectares. As coordenadas foram importadas para o QGIS utilizando dados do IBGE, SEPLAN-TO (2012) e MMA, com o objetivo de gerar mapas temáticos confiáveis.

As camadas ambientais incluíram: pedologia, com identificação dos solos com base nas cartas da Embrapa (SANTOS et al., 2018); declividade, com análise da variação altimétrica no QGIS; e altimetria, com mapeamento detalhado usando Modelo Digital de Elevação - MDE Alos Palsar (resolução de 12,5 m). Para a análise da fitofisionomia do Cerrado foi realizado a integração de dados de sensoriamento remoto e observações de campo. A descrição *in loco* incluiu vegetação predominante e uso do solo, diferenciando áreas de agricultura, pastagem, vegetação nativa e zonas antropizadas.

Para a caracterização do solo, a coleta de amostras de solo foi realizada em cada Sítio Experimental conforme a metodologia estabelecida no Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2015). As análises químicas e físicas das amostras foram conduzidas no Laboratório de Solos da UNITINS-AGRO.

Os resultados das análises foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, considerando um nível de significância de 5%. Em seguida, foi realizada a análise descritiva (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação), analisada estatisticamente utilizando o software SISVAR. Os teores de nutrientes foram interpretados com base nos limites propostos pela Embrapa para diferentes classes texturais de solo (SOBRAL et al., 2015), tradicionalmente aplicados a áreas de cultivo. No entanto, para fins deste estudo, esses mesmos limiares foram adotados para comparar áreas nativas e áreas sob diferentes tipos de uso e manejo, permitindo uma análise abrangente e consistente. A seguir, na Tabela 1, estão apresentados os limiares utilizados para a classificação dos teores de fósforo (P) e outros parâmetros químicos do solo.

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

Classes de teores de P no solo				
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)

A Tabela 2 apresenta o pH, Alumínio, Cálcio, Magnésio, Potássio e a Matéria Orgânica, relacionando-os aos teores de cada um.

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

Elementos	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)

2.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E BIOMÉTRICA

Para caracterização, um censo populacional foi conduzido para contabilizar indivíduos adultos, jovens e o número de cachos de frutos, inflorescência, além de medir o diâmetro à altura do peito (DAP) e registrar a presença de espinhos. A altura das palmeiras foi estimada utilizando o aplicativo Measure Height, cuja precisão foi validada por estudos anteriores (BRITO NETO; BARRETO; PRADO, 2016; OLIVEIRA, 2018).

Com relação a realização das análises biométricas, coletou-se os frutos caídos ao solo, os quais, foram ensacados e identificados conforme a matriz de origem. A amostragem foi composta por cinco frutos de cada planta, selecionadas de cinco palmeiras de cada Sítio Experimental.

No laboratório, foram avaliados os seguintes parâmetros: comprimento e diâmetro do fruto (em mm), além da massa total do fruto, da casca (epicarpo), da polpa (mesocarpo), do endocarpo e da amêndoa (endosperma), todos expressos em gramas (g). As medições de comprimento e diâmetro foram realizadas com paquímetro de alta precisão, e a pesagem foi efetuada em uma balança semi-analítica devidamente calibrada.

A fim de verificar a variabilidade entre os dados obtidos, foram analisados com o uso do software SISVAR, sendo calculadas as medidas de posição (média, mínimo e máximo) e as medidas de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação).

A identificação botânica das espécies de macaúba foi executada conforme metodologia adotada pelo Herbário HUTO da Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS). A coleta de amostras botânicas foi realizada em duas palmeiras por Sítio Experimental, sendo as amostras encaminhadas ao Herbário HUTO para herborização e posterior análise taxonômica. Após a preparação do material, ele foi submetido a especialistas para confirmação e identificação definitiva.

Para assegurar a precisão taxonômica, o Herbário HUTO encaminhou as amostras ao Herbário do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), reconhecido pela presença de especialistas em palmeiras.

2.4 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE ÓLEO

A metodologia envolveu a coleta de frutos caídos de sete palmeiras por área, totalizando 2 kg por palmeira. Os frutos foram armazenados em sacos etiquetados com data, local e identificação da palmeira, e congelados para posterior processamento. A extração do óleo seguiu o método Bligh; Dyer no Laboratório Lasor da UFT, utilizando 2 g de polpa e castanha por amostra secas e moídas. Após a adição de solventes (clorofórmio, metanol e água destilada), a mistura foi agitada e as camadas separadas, em seguidas filtradas. O óleo foi recuperado após evaporação do solvente em estufa a 80 °C e pesagem final para cálculo do percentual de lipídeos.

O experimento seguiu um delineamento fatorial com três fatores: local de coleta (Sítio A e Sítio B), parte do fruto (mesocarpo e endosperma) e tempo de extração (30 e 60 minutos), totalizando oito tratamentos com sete repetições cada. Os dados foram analisados estatisticamente por ANOVA para verificar a significância dos fatores e suas interações no percentual de óleo extraído. O teste F foi aplicado a 5% de significância, e as médias foram comparadas pelo teste de Scott; Knott. As análises foram realizadas com o software AgroEstat da UNESP, permitindo avaliar a dispersão e a tendência central dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E DO SOLO

No Sítio A, a vegetação é caracterizada pelo predomínio do estrato arbóreo, enquanto os estratos arbustivo e herbáceo apresentam menor expressividade. O dossel mais aberto permite maior incidência de luz nas copas das palmeiras, influenciando diretamente seu desenvolvimento. Diferentemente das áreas de mata fechada, onde as palmeiras crescem em altura para competir por luz, neste ambiente mais exposto, seu crescimento vertical é reduzido. Essa menor competição luminosa também contribui para a coexistência de espécies vegetais típicas de diferentes estratos, aumentando a diversidade vegetal, mesmo que o estrato arbóreo seja dominante

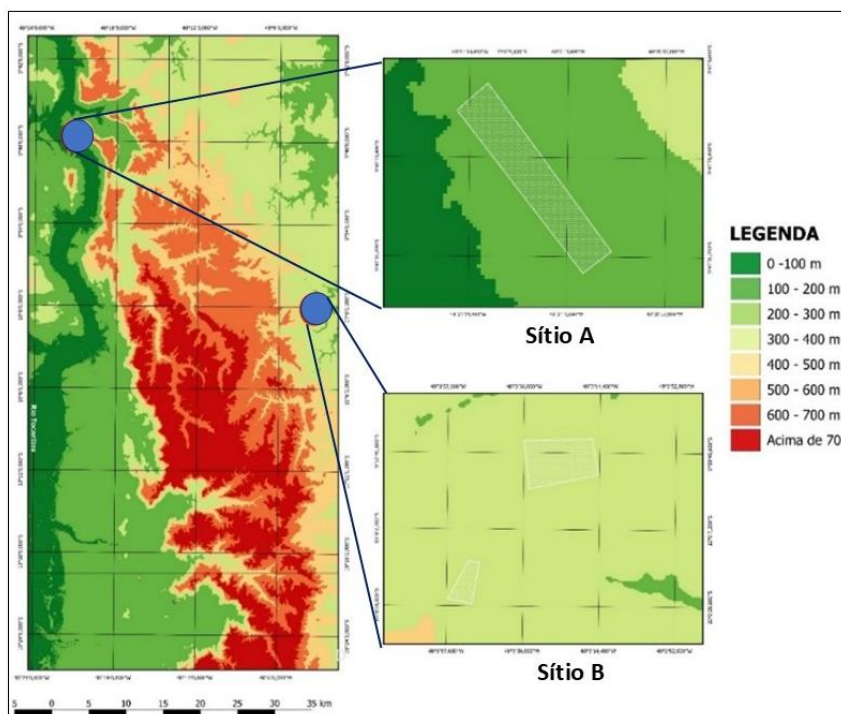
Portanto, o Sítio A representa um exemplo de como as variações na densidade do dossel e na entrada de luz influenciam a estrutura e a dinâmica das comunidades vegetais, refletindo a capacidade de adaptação do Cerrado a diferentes condições ambientais. A macaúba foi igualmente registrada nesse local no estudo por Alves; Carvalho (2010), que observaram a ocorrência da espécie em diversos

tipos de fitofisionomias, como Cerrados, Campos Cerrados, Matas de galeria, Matas de encosta e Campos rupestres (Transição entre Cerrado e Mata Atlântica).

O Sítio Experimental B, está em um ambiente de pastagem margeando um cerrado stricto sensu pedregoso. O pasto presente nessa área apresenta espécie braquiária, já emitindo pendões florais, e foi recém tirado o gado, estando um pasto mais raleado. As palmeiras macaúba estão mais dispersas no decorrer do território. Não tem relato de nenhuma outra espécie de palmeira nesse sítio, sendo macaúba única palmeira da região. Nos estudos conduzidos por Teles et al. (2011) e Sousa (2020), foram relatadas a ocorrência de população de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd) 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 análise hipsométrica realizada nos Sítios Experimentais A e B, conforme representado na Figura 2, revela características altimétricas distintas e significativas para estudos ambientais e agrícolas. O mapa foi elaborado com base em um Modelo Digital de Elevação (MDE), permitindo a identificação de oito classes altimétricas distintas, com variações de altitude entre 100 m e 700 m.

Figura 2 - Hipsometria nas regiões dos Sítios Experimentais A (Lajeado) e B (Aparecida do Rio Negro)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O Sítio A, localizado próximo à Serra do Lajeado, apresentou a menor altitude dentre os sítios, com uma elevação média de 230 m. Essa proximidade da base da serra, influencia diretamente a topografia da área, resultando em uma menor declividade e um relevo mais suave.

Em contrapartida, o Sítio B destacou-se por possuir a maior altitude, com uma média de 390 m. Essa elevação superior implica uma topografia mais acidentada e uma maior inclinação, o que pode representar desafios adicionais para o manejo agrícola e a conservação do solo. Contudo, a maior altitude também pode favorecer uma melhor drenagem natural e um microclima mais ameno.

Ao estudar a ocorrência natural da macaúba em Minas Gerais, Teles et al. (2011), encontraram macaúbas em altitudes variando de 600 m a aproximadamente 800 m. Relataram também que no estado de Minas Gerais existe referência indicando que a macaúba pode ocorrer em altitudes de até 950 m. Outros estudos apontam que a margem de altitude que a macaúba pode ser encontrada, varia de 150 a 1000 m (SILVA et al., 1986; COSTA, OLIVEIRA, COSTA, 2018), estando os dois Sítios Experimentais do presente trabalho, dentro da faixa de ocorrência de macaúba.

Os solos analisados nos respectivos Sítios Experimentais apresentaram em média de acordo com resultado da análise física (textura) do solo e de acordo com o triângulo textural de Atterberg, o enquadramento na classe textural franco-argilo-arenoso (Tabela 3).

E sendo assim, esse tipo de solo presente na Sítios Experimentais, é caracterizado pela maior ocorrência de areia, seguida de argila e de 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 diversidade de plantas, incluindo a macaúba, que prefere solos bem drenados e com boa disponibilidade de nutrientes (SANTOS et al., 2018).

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

macaúba.				
Sítio Experimental	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	g kg ⁻¹			
A	700,90	77,00	222,10	Franco-argilo-arenosa
B	539,49	115,85	344,65	Franco-argilo-arenosa

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Os resultados da caracterização química dos solos dos sítios, considerando as duas profundidades estão representados nas Tabelas 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.

No Sítio A, os teores de fósforo são baixos, com médias de 1,38 mg.dm³ (0-20 cm) e 1,22 mg.dm³ (20-40 cm), enquanto no Sítio B, há uma variação maior, com médias de 2,09 mg.dm³ e 1,93

mg.dm³ nas respectivas camadas. Apesar dos teores mais altos no Sítio B, ambos os sítios mostram necessidade de suplementação para otimizar o crescimento das plantas.

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			DP	CV (%)
	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.		
P (mg.dm ³)	4,76	0,55	1,38	24,28	1,21	2,09	5,87	167
Ca (cmol.dm ³)	2,80	1,73	1,68	4,19	0,29	1,38	1,18	59,08
Mg (cmol.dm ³)	0,47	0,13	0,89	2,42	0,01	1,17	0,68	106
K (mg.dm ³)	144,67	43,01	74,29	136,85	19,55	50,83	34,99	59,18
Al (cmol.dm ³)	0,36	0,04	0,18	2,31	0	1,33	0,77	125
M.O (dg.kg ⁻¹)	1,71	0,80	1,37	5,65	2,06	3,39	1,33	55,56
pH	4,95	4,34	4,65	5,50	3,89	4,31	0,42	9,34

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

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			DP	CV (%)
	Máx	Min	Méd.	Máx	Min	Méd.		
P (mg.dm ³)	1,81	0,61	1,22	6,26	1,15	1,93	1,76	79,85
Ca (cmol.dm ³)	2,80	1,73	1,59	3,75	0,35	1,16	1,04	67,92
Mg (cmol.dm ³)	0,31	0,09	0,85	1,15	0,04	0,99	0,34	91,65
K (mg.dm ³)	148,58	31,28	74,29	136,85	19,55	58,65	45,61	67,38
Al (cmol.dm ³)	0,41	0,04	0,25	2,42	0	1,16	0,77	109,79
M.O (dg.kg ⁻¹)	1,51	1,00	1,21	3,39	1,32	2,38	0,74	42,06
pH	4,96	4,24	4,53	4,98	3,86	4,16	0,38	8,74

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Entre outras funções o fósforo 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). Práticas de manejo 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.

Os teores de cálcio no Sítio A estão em níveis adequados, com médias de 1,68 e 1,59 cmolc.dm³, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm respectivamente, enquanto no Sítio B, as médias foram inferiores (1,38 e 1,16 cmolc.dm³), sendo considerados baixos. Mesmo assim, o crescimento das palmeiras foi satisfatório no Sítio B, sugerindo uma adaptação às condições locais. 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).

Quanto teor de magnésio, o Sítio A apresenta médias de 0,89 e 0,85 cmolc.dm^3 , para as camadas estudadas, sendo consideradas moderadas, enquanto no Sítio B, os teores são mais variáveis, com médias de 1,17 e 0,99 cmolc.dm^3 , indicando que algumas áreas podem ter deficiências. Quando as macaúbas apresentam deficiência de magnésio, pode ocasionar um crescimento reduzido, e nessa condição, as folhas novas não se desenvolvem e observa-se a presença de clorose generalizada na planta, similar à deficiência de N (MOTOIKE et al., 2013; PIMENTEL et al., 2022).

Os teores de potássio no Sítio A são elevados, com média de 74,29 mg.dm^3 , enquanto no Sítio B variam amplamente, com médias de 50,83 mg.dm^3 , classificando-se como moderados. Isso evidencia que a disponibilidade de potássio no solo é suficiente para o desenvolvimento das populações de macaúba, especialmente nas camadas superficiais. Os níveis de potássio são bons, especialmente na camada superficial, sendo um indicativo positivo, pois o potássio é vital para várias funções fisiológicas das plantas (BARROS, 2020). Isso é explicado no trabalho de Dietrich (2020), onde a presença de potássio em níveis moderados a altos favoreceu o desenvolvimento das populações de macaúba, especialmente na camada mais superficial do solo, onde as raízes estão mais ativas na absorção de nutrientes.

Os níveis de alumínio são baixos no Sítio A (0,18 e 0,25 cmolc.dm^3), mas mais elevado no Sítio B (1,33 cmolc.dm^3). O alumínio em excesso pode ser tóxico para as plantas, especialmente em solos ácidos, prejudicando o crescimento radicular. Embora os níveis observados no Sítio B são maiores, o alumínio ainda está presente em quantidades que podem representar um risco para as plantas, especialmente em condições de acidez elevada. Isso sugere que, apesar da adaptação das populações nativas à acidez do solo, medidas para mitigar os efeitos do alumínio, como a calagem, poderiam ser benéficas, especialmente em solos mais ácidos.

O pH em ambos os sítios indica acidez elevada (fortemente ácida): o Sítio A apresenta médias de 4,65 e 4,53, e o Sítio B, 4,31 e 4,16, para as camadas 0-20 cm e 02-40 cm respectivamente. Esses valores foram semelhantes a três áreas com macaúba estudadas por Teles et al. (2011), em Cerrado, na região centro e sul do estado de Goiás. Essa acidez pode limitar a disponibilidade de nutrientes e aumentar a toxicidade do alumínio, exigindo possíveis correções com calcário.

Por fim, os teores de matéria orgânica no Sítio A são baixos a moderados, com médias de 1,37 e 1,21 dag.kg^{-1} , enquanto no Sítio B são mais altos, com 3,39 e 2,38 dag.kg^{-1} . A matéria orgânica elevada no Sítio B melhora a estrutura e fertilidade do solo, compensando em parte a acidez elevada.

O Sítio B apresenta maior fertilidade geral, com destaque para fósforo, magnésio e matéria orgânica, mas sofre com elevados teores de alumínio e acidez. O Sítio A, por sua vez, apresenta menor variação nos nutrientes, mas teores de cálcio e potássio mais estáveis, com menor risco de toxicidade por alumínio. Ambos requerem manejo diferenciado para otimizar o uso sustentável das áreas nativas e maximizar a produtividade das populações de macaúba.

3.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

O Sítio Experimental A, apresenta uma área de 8,98 hectares, e abriga 117 plantas, das quais 83 são adultas e 34 jovens, com uma densidade de 13 plantas.ha⁻¹. A altura média das plantas é de 5,76 metros, e apenas uma planta apresentou inflorescência, resultando em uma média de 1 cacho por planta. O diâmetro à altura do peito médio (DAP) das plantas foi de 17,75 cm. É notável a presença significativa de plantas sem espinhos (72), correspondendo a 61,5%, em relação às plantas com espinhos (45), o que pode influenciar o manejo da área, especialmente na colheita e manutenção (Tabela 6).

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

Sítio	Números de plantas			Plantas/ ha	Altura média (m)	Nº plantas c/ inflorescência	Média de cachos/pl	DAP (cm)	Presença de espinho - estipe	
	Adultas	Jovens	Total						Com	Sem
A	83	34	117	13	5,76	1	1	17,75	45	72
B	90	5	95	3,5	6,36	0	2	19,86	10	85
Total	173	39	212	-		-	-	-	55	157

Área do Sítio A = 8,98 ha e do Sítio B = 27 ha

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A quantidade de plantas jovens (29% do total) observada no Sítio A, sugere um processo de regeneração ativo, possivelmente devido à diversidade vegetal e o ambiente nativo e a estabilidade ecológica, mas também exige atenção para práticas de manejo que minimizem a competição entre plantas e promovam o desenvolvimento uniforme.

O Sítio B apresenta uma extensão significativamente maior, com 27 hectares, e uma população de 95 plantas, sendo 90 adultas e apenas 5 jovens, representando uma densidade de apenas 3,51 plantas.ha⁻¹. A altura média das plantas é de 6,36 metros. Nenhuma planta apresentou inflorescência, mas há a presença de 2 cachos, o que sugere um potencial reprodutivo limitado no momento da análise. O DAP médio de 19,86 cm reflete plantas mais robustas em comparação ao Sítio A. Do total de 95 palmeiras de macaúba, 85 plantas não apresentam espinhos na sua estipe, representando uma

ocorrência de cerca de 90%, superior ao do Sítio A, que foi de 61,5% (Tabela 6). Pode-se verificar pela Figura 3, as diferenças quanto à existência espinhos nas estipes de palmeiras de macaúba.

Figura 3. Estipe da palmeira de macaúba com espinhos (A) e estipe sem espinho (B)



Fonte: Arquivos dos autores (2022)

Nobre et al. (2015) constataram que as alturas das macaúbas presentes no município de Coração de Jesus-MG, variaram 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 do presente estudo, que foi relatado a predominância de palmeiras jovens. Já no livro Harri et al. (2006), descrevem que a macaúba tem média de altura de 10 a 15 m. Na Flora e Funga do Brasil, do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Vianna; Campos-Rocha (2020), observaram alturas no intervalo de 5 a 15 m.

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.

A baixa presença de plantas jovens (5% do total) pode indicar condições menos favoráveis à regeneração, possivelmente associadas à maior altitude e maior declividade, ou mesmo devido ao uso da terra, como no caso de palmeiras associadas à pastagens. Esse cenário implica a necessidade de intervenções para garantir a sustentabilidade populacional e a renovação natural das espécies. Além disso, o menor número de plantas com espinhos (10) em comparação às sem espinhos (85), no caso de exploração das palmeiras, facilitaria as práticas de manejo e colheita, o que pode ser vantajoso em termos operacionais.

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 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. E 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.

Figura 4. Plantas com os cachos de frutos observadas nos dois sítios experimentais, sendo a da esquerda localizada no Sítio A e a da direita no Sítio B



Fonte: Arquivos dos autores (2022)

Franco (2019), conduziu experimentos, de consórcio de macaúba e café, para avaliar a frequência de queda dos frutos na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa – MG, o número de cachos por palmeira observado, variou de 3 a 6, sendo que uma única planta apresentou seis cachos. Já em relação a inflorescência, o resultado é devido à fenologia da espécie e datas da realização do estudo que ocorreu em fases diferentes.

Montoya et al. (2016), explicam que o fruto da macaúba apresenta uma curva de crescimento duplo sigmóide e desenvolvimento supra-anual. Resende et al. (2020) complementam ainda que, isso é devido ao 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 da temperatura atmosférica, precipitação e disponibilidade hídrica.

As diferenças entre os dois sítios em termos de área, densidade de plantas e características morfológicas, considerando uma possível exploração extrativista, sugerem a necessidade de estratégias diferenciadas de manejo. O Sítio A, com maior proporção de plantas jovens e menor altura média (5,76 m), pode ser adequado para intervenções de controle de crescimento e manejo de pragas. Já o Sítio B, com plantas mais robustas e menor regeneração, requer atenção especial para garantir a sustentabilidade da população vegetal a longo prazo.

No que refere-se à identificação botânica, as plantas de macaúba coletadas para estudo, foram confirmadas, ou seja são a *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, e encontram-se distribuídas nos dois sítios experimentais. E isso, pode ser explicado pela pesquisa de Lima et al. (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.

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), destacam 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. Os autores também salientam 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*, que é uma plataforma que disponibiliza os dados dos herbários do Brasil e de outros países, as amostras de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. estão depositadas em 54 herbários, tendo 290 registros da espécie nesses

herbários. Sendo que os maiores registros estão nos Herbários SinBiota (SP), CEN (Brasília), UnB (Brasília) e IAC (SP).

Considerando a estatística descritiva das 07 características quantitativas analisadas neste estudo, nos dois Sítios Experimentais, observa-se pela Tabela 7, que o coeficiente de variação (CV%) oscilou de 8,03% para a largura da folha (LAR) a 41,58% para o peso do mesocarpo fresco (MEF). Silva et al. (2020), 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).

Tabela 7. Valores máximo (Máx), mínimo (Mín), média (Méd), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), para o comprimento dos frutos (COM), largura dos frutos (LAR), peso dos frutos (PESO), casca do fruto fresca (CAF), mesocarpo fresco (MEF), endocarpo fresco (EDF) e endosperma (ENF)

Biometria	Sítio A					Sítio B				
	Máx	Mín	Méd.	CV (%)	DP	Máx	Mín	Méd.	CV (%)	DP
COM (mm)	43,00	32,00	38,1 6	8,43	3,2 2	40,00	27,0 0	32,49	9,39	3,50
LAR (mm)	42,00	31,50	37,5 6	8,03	3,0 1	37,00	25,0 0	31,78	8,29	2,63
PESO (g)	38,34	16,20	27,7 5	22,82	6,3 3	26,83	9,13	15,21	26,61	4,04
CAF (g)	8,76	2,73	5,16	32,04	1,6 5	6,33	2,41	3,57	24,87	0,89
MEF (g)	16,39	5,01	10,4 2	27,45	2,8 6	10,90	2,20	5,28	41,58	2,19
EDF (g)	13,26	4,20	9,31	27,15	2,5 3	7,32	3,41	4,89	18,25	0,89
ENF (g)	3,25	1,42	2,20	24,88	0,5 5	1,30	0,62	0,97	20,73	0,20

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

No que se refere à biometria dos frutos da macaúba, observou-se que no Sítio A, todas as médias da métricas dos frutos analisadas, se destacaram em relação aos do Sítio B (Tabela 7). O comprimento médio dos frutos e largura média dos frutos, no Sítio A, corresponderam a 38,16 mm com 37,56 mm, respectivamente, com menores coeficientes de variação. Além disso, o peso médio dos frutos também foi superior, atingindo 27,75 g, variando de 38,34 g a 16,20g, equivalendo a amplitude de 22,14g e CV = 22,82%, demonstrando elevada variabilidade para esta característica. Quando comparado com os resultados obtidos por Silva et al. (2020), percebe-se que esse valor é inferior aos obtidos em Rifaina – SP, Campinas – SP e Luz – MG, que foram, 37,31g, 38,86g e 57,71g,

respectivamente. Contudo o peso máximo constatado no presente estudo (38,34g), assemelha-se aos valores observados em São Paulo por Silva et al. (2020).

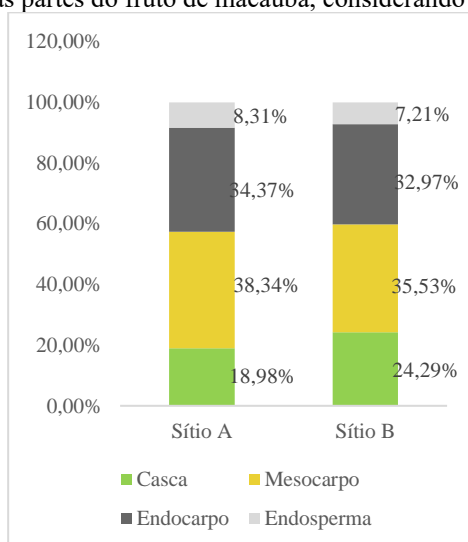
O estudo de Montoya; Motoike; Kuki (2009), que analisou o desenvolvimento dos frutos de macaúba na região de Acaiaca - MG, foram obtidos valores médios máximos de 46,0 mm de comprimento e 52,0 g de peso, apresentando também resultados superiores aos observados neste trabalho.

Já a pesquisa de Viroli et al. (2021), realizada no município de Paraíso do Tocantins - TO, registrou frutos com comprimento de 36,5 mm e largura de 41,8 mm, que apresentam semelhanças dos dados biométricos obtidos no presente estudo.

O peso do mesocarpo que é a principal fonte de óleo, constatado no Sítio A, foi de 10,42g, sendo superior em duas vezes o valor do Sítio B, revelando como um potencial de remoção de óleo. O endosperma apresentou também um valor maior, com uma média de 2,20g. Além disso, o peso médio da casca observado no Sítio A, foi de 5,16 g, superou o do Sítio B, com um CV = 32,04%, considerado elevado, o que demonstra a variabilidade quanto à uniformidade dessa característica, oscilando entre 2,73g a 8,76g.

A Figura 5, apresentada sob um gráfico de barras empilhadas mostra a distribuição percentual das partes do fruto da macaúba (casca, polpa, endocarpo e semente) nos dois sítios distintos.

Figura 5. Proporção das partes do fruto de macaúba, considerando cada Sítio Experimental



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O Sítio A se destaca por apresentar a maior proporção de mesocarpo, com 38,34%, indicando um potencial elevado para a extração de óleo. Por outro lado, é o local com a menor proporção de casca, apenas 18,98%, o que pode resultar em menor geração de resíduos durante o processamento.

Esse perfil, torna o Sítio A especialmente atrativo para a produção de óleo, dado o volume significativo de polpa disponível.

Em contraste, o Sítio B apresenta a maior proporção de casca, com 24,29%, e a menor proporção de endosperma, apenas 7,21%. Essa composição pode impactar o aproveitamento econômico do fruto, reduzindo a quantidade de polpa oleaginosa e aumentando a produção de resíduos. No entanto, essa alta proporção de casca pode ser aproveitada para outras aplicações, como a produção de biomassa ou compostagem.

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%.

Sendo assim, comparando os dois sítios experimentais, os frutos do Sítio A, destacam-se como mais promissores para a produção de óleo de macaúba, devido à superioridade em quase todos os parâmetros biométricos, especialmente no peso de mesocarpo e endosperma. Já o Sítio B os frutos podem ser aproveitados para outras finalidades, mas com menor potencial para exploração econômica de óleo em comparação ao Sítio A. O manejo visando a exploração extrativista em ambos os sítios, pode ser otimizado para aumentar a eficiência e a produtividade, especialmente considerando as correções nutricionais.

3.3 POTENCIAL BIOENERGÉTICO: TEOR DE ÓLEO

Com relação à análise do teor de óleo de frutos de macaúba, considerando os dois sítios experimentais, observou-se diferenças significativas entre os locais de coleta, destacando-se que foi o único fator com efeito significativo (Tabela 8).

Nesse caso, o Sítio A (Lajeado, com vegetação natural) apresentou o teor médio de óleo de 30,85%, sendo superior aos 20,73% do Sítio B, sugerindo que condições ambientais influenciam na extração. Contudo, quando comparou-se as partes do fruto (mesocarpo e endosperma) e o tempo de extração (30 e 60 minutos) incorporando dados dos dois sítios de caráter geral, não apresentaram diferenças significativas no rendimento de óleo.

Tabela 8. Teores médios de óleo (%) obtidos a partir dos frutos de macaúba nos Sítios A e B, considerando os locais de coleta, partes do fruto e o tempo de extração.

Local	Teor médio de óleo (%)	Parte do fruto	Teor médio de óleo (%) ¹	Tempo de extração (min)	Teor médio de óleo (%) ²
Sítio A	30,85 a	Mesocarpio	26,08 a	30	26,40 a
Sítio B	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 A e B
² Média geral do teor de óleo de cada tempo de extração envolvendo os Sítios A e B
Média geral: 25,79% e CV: 16,22%
Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

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%.

Comparando os resultados referentes aos os teores médios de óleo, de outros autores, com os obtidos no presente estudo, destaca-se que de forma geral foram mais modestos, sugerindo conforme Soletti (2016), que variações ambientais, climáticas, tipo de solo, a idade da palmeira, o ciclo de reprodução, o período da coleta, o manuseio dos frutos e diversos outros fatores, além da metodologia que podem influenciar nos resultados.

4 CONCLUSÃO

A análise de populações naturais de *Acrocomia aculeata* na região central do Tocantins mostrou a ampla adaptabilidade da espécie em áreas naturais de Cerrado e em condição de pastagem extensiva, o que lhe permite desenvolver-se em diferentes ambientes, solos, condições climáticas e usos da terra.

Os resultados obtidos indicam um potencial bioenergético, com destaque para o Sítio A, situado em Lajeado que apresentou maior teor médio de óleo em relação ao Sítio B, em Aparecida do Rio Negro.

Não foi constada diferença significativa entre o teor médio de óleo do mesocarpo e o endosperma, nem com relação ao tempo de extração.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia (PROCAD/Amazônia).

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital e à equipe do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM – UFT), da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

REFERÊNCIAS

- ACELEN. Site oficial da Acelen. 2024. Disponível em: <<https://www.acelen.com.br/a-acelen/>>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- ALVES, J. A; CARVALHO, D. A. A família arecaceae (palmeiras) no município de Lavras, MG. *Cerne*, Lavras, v. 16, p. 163-170, jun. 2010.
- AMPESE, L. C., BULLER, L. S., MONROY, Y. M. et al. Macaúba's world scenario: a bibliometric analysis. *Biomass Conv. Bioref.* California, USA, v. 13, p. 3329–3347, mar. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01376-2>.
- BARROS, J. F. C. *Fertilidade do solo e nutrição das plantas*. Évora, Portugal: Universidade de Évora. 2020. 33p.
- 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.
- 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.
- CARDOSO, A. N.; RODRIGUES, T. O.; SANTOS, G. S. Inventário do ciclo de vida do óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*). In: Embrapa Agroenergia-Artigo em Anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 9., 2016, Natal, RN. Biodiesel: 10 anos de pesquisa, desenvolvimento e inovação no Brasil: Anais. Lavras: UFLA, 2016.
- 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*, Amsterdam, v. 107, n 15. p. 573-580. nov. 2017.
- 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*, v. 93, n. 3, p. 771-782, jun. 2019. DOI: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10457-017-0173-7>.
- 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.
- 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, MG, v.8, n.2, p.81-92, nov. 2017. DOI: 10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v8n2p81-92.

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.

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

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

KAHN, F.; CASTRO, A. The Palm community in a forest of Central Amazonia, Brazil. *Biotropica*, v. 17, n.3, p. 210-216. Sep. 1985. DOI: doi.org/10.2307/2388221.

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

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*, v. 18, p. 151–161, mar. 2018. DOI: <https://doi-org.ez6.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13127-018-0362-x>.

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

MACHADO, W.; GASPARETTO, A. C.; MORIMOTO, L. S. B.; GUIMARÃES, M. de F. Desenvolvimento radicular de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em dois solos. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 22, n. 3, p. 143–147, 2018. DOI: 10.17921/1415-6938.2018v22n3p143-147.

MEDEIROS, T. D. S; CANTUÁRIA, P. de C.; SILVA, B. M. da S. e; SILVA, R. B. L. e. Lista de verificação de palmeiras (*Arecaceae* Bercht. & J. Presl) do Estado do Amapá, Brasil. *Investigação, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], v. 11, n. 4, pág. e21311427038, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27038.

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

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. et al. Viability of a macauba palm–Brachiaria grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. *Agron. Sustain. Dev.*, v. 41, p. 55, 2021.

MOREIRA, S. L. S. et al. Root distribution of cultivated macauba trees. *Industrial crops and products*, v. 137, p. 646–651, 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.; 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*, v. 265, p. 121628, ago. 2020

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

NOBRE, D. A. C.; TROGELLO, E., BORGHETTI, R. A., DAVID, A. M. S. "Macaúba (*Acrocomia aculeata*): Palmeira de extração sustentável para biocombustível." *Colloquium Agrariae*. Presidente Prudente, v. 10, n. 2, p. 92-105, jul-dez. 2014.

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*, v.30, p.290-293, 2015.

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. 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.

PIMENTEL, L. D.; CLEMENTE, J. M.; MARTINEZ, H. E. P.; MOREIRA, S. L. S.; BARBOSA, M. A. M. Nutrição mineral da macaúba: curva de crescimento e sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes. 2022. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. 2022.

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*, 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).

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. 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*, v. 38, p. 31-44, 2008.

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*, v. 154, p. 112749, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112749>.

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. *Multitemas*, Campo Grande, v. 22, n. 51, p. 179-195, 2017.

RODRIGUES ORTEGA, J.; 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*, [S. l.], v. 26, n. 2, 2024.

ROSA, A. C. S.; STEVANATO, N.; IWASSA, I. J.; 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, e2018195, 2019. doi: 10.1590/1981-6723.19518

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. de. Macaúba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil prevents adipogenesis, inflammation and oxidative stress in mice fed a high-fat diet. *Nutrients* 2023, 15, 1252. <https://doi.org/10.3390/nu15051252>

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; ARAÚJO 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.

SILVA, J. de C.; 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*, v. 34, p. 31-34, 1986.

SILVA, P. H.; VIANNA, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; AZEVEDO FILHO, J. A. de; COLOMBO, C. A. Divergência genética entre espécies de palmeiras *Acrocomia* Mart. baseada em descritores morfoagronômicos. *Energia na Agricultura*, v. 35, n. 4, p. 562–577, out.-dez. 2020.

SILVA, G. C. R. Influence of maturity and harvest region on the chemical composition and physicochemical properties of oils derived from macauba fruits. *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*, Viçosa-MG, n. 31, p. 64–75. mai. 2023.

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.

SOLETTI, J. I. Estudo do processo de extração do óleo da macaúba (*Acrocomia intumescens*). 2016. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, UFAL. Maceió. 2016.

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.

STAHEL WR. The circular economy. *Nature*, v. 24, n. 531. p. 435-438. Mar. 2016. doi: 10.1038/531435a. PMID: 27008952.

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*, v. 41, n. 4, p.595–601, 2011.

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 de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

TRENTINI, C. P., SILVA, S. B., RODRIGUES, G. M., GARCIA, V. A. S., CARDOZO-FILHO, L., & SILVA, C. Pressurized liquid extraction of macauba pulp oil. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 95, n. 8, p. 1579–1584. 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 out. 2024.

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).

MADEIRA, D. D. C., MOTOIKE, S. Y., SIMIQUELI, G. F. et al. Phenotypic characterization and genetic diversity of macauba (*Acrocomia aculeata*) accessions based on oil attributes and fruit biometrics, 10 oct. 2023, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3410726/v1>]

VIROLI, S. L. M.; RODRIGUES, F. M.; SOUSA, P. J. de; 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. Scientific initiation: stimulus for research and path to knowledge production. Belo Horizonte: Synapse Editora, 2021, 91 p.