

**PALOMA VIEIRA BRÁS**

**SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENITORES E HÍBRIDOS PARA O  
MELHORAMENTO GENÉTICO DA MACAÚBA**

Dissertação apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike

Coorientadores: Gleison Augusto dos Santos  
Evellyn Giselly de Oliveira Couto

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Brás, Paloma Vieira, 1997-  
B823s Seleção e caracterização de genitores e híbridos para o  
2024 melhoramento genético da macaúba / Paloma Vieira Brás. –  
Viçosa, MG, 2024.  
1 dissertação eletrônica (56 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.  
Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamentos de Biologia Geral, 2024.  
Referências bibliográficas: f. 47-56.  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.247>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Acrocomia aculeata*. 2. Macaúba - Melhoramento genético. 3. Herdabilidade. I. Motoike, Sérgio Yoshimitsu, 1967-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamentos de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 633.8512

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552


**PALOMA VIEIRA BRÁS**

**SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENITORES E HÍBRIDOS PARA O  
MELHORAMENTO GENÉTICO DA MACAÚBA**

Dissertação apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20/02/2024


Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 **PALOMA VIEIRA BRÁS**  
Data: 14/07/2024 10:48:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Paloma Vieira Brás

Autor

Documento assinado digitalmente  
 **SERGIO YOSHIMITSU MOTOIKE**  
Data: 15/07/2024 09:01:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Sérgio Yoshimitsu Motoike

Orientador

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, dirijo meu mais profundo agradecimento a Deus e a todos os amigos espirituais que se fizeram presentes em minha jornada, ensinando-me que o mundo é repleto de amorosidade e que tudo se cura.

Aos meus queridos pais, Leny e Sidinei, expresso minha eterna gratidão pelo dom da vida, pelo amor incondicional e pelo apoio constante em minha trajetória acadêmica. Vocês são as bases de minha existência e sucesso.

Um agradecimento especial aos meus irmão Veronica, Júnior e meu cunhado Leandro, que sempre estiveram ao meu lado, não apenas como familiares, mas como meus melhores amigos e maiores apoiadores.

À Universidade Federal de Viçosa, expresso minha sincera gratidão pela oportunidade ímpar de realizar minha pós-graduação, um período de imenso crescimento. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão das bolsas de estudo, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À Pauliana, agradeço por ser mais que uma colega da academia, mas uma amiga e inspiração. Sua presença foi um farol de motivação e admiração em minha jornada.

Meus agradecimentos a William e Andressa, pela colaboração valiosa, paciência e amizade durante a construção deste trabalho. Vocês são pessoas únicas que tive o prazer de conhecer e trabalhar.

Um agradecimento especial à minha amiga e mentora, Joane, por ser a luz inicial em minha jornada científica. Sua orientação e amizade foram fundamentais para a minha inscrição e sucesso no programa de pós-graduação em genética e melhoramento.

Aos amigos Karol, Fernanda, Mariany, TAMILIS, Victor, Dryelle e Talles que estiveram ao meu lado segurando minha mão neste processo, minha gratidão é imensa. Vocês foram pilares de suporte e alegria. A Mari um agradecimento especial, além da amizade e carinho de sempre, seu conhecimento em manejo florestal foi fundamental para realização desse trabalho.

A todos os membros do Grupo REMAPE, em especial às minhas colegas Mirian, Ana e Naomi por todo apoio, suporte e amizade. Aos incansáveis trabalhadores

de campo em Araponga, cuja ajuda, bom humor e sorrisos foram essenciais, meu sincero agradecimento.

Aos meus coorientadores, Gleison e Evelyn, expresso minha gratidão pelo apoio incondicional em cada fase deste projeto.

Um especial agradecimento ao meu orientador, Professor Sergio Motoike, cuja sabedoria, orientação e paciência foram indispensáveis ao longo deste percurso acadêmico. Seu apoio e dedicação foram pilares fundamentais para o meu desenvolvimento e sucesso neste trabalho.

A todos, meu mais sincero obrigado por terem sido tão fundamentais nesta importante fase da minha vida acadêmica.

*“E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.”*

Paulo de Tarso- Bíblia Sagrada (1 Coríntios 13:2).

## RESUMO

BRÁS, Paloma, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2023. **Seleção e caracterização de genitores e híbridos para o melhoramento genético da macaúba.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Evellyn Giselly de Oliveira Couto e Gleison Augusto dos Santos.

Em um cenário global em busca de alternativas renováveis e sustentáveis para o setor energético, a macaúba (*Acrocomia aculeata*) emerge como uma cultura promissora devido ao seu potencial produtivo e versatilidade de usos. Este estudo focaliza a caracterização e validação da qualidade dos frutos e do óleo da geração F1 de macaúba, oriundos do cruzamento entre distintos ecótipos, visando explorar a influência da diversidade genética na produtividade e nas características agronômicas desejáveis. Conduzida na Estação Experimental de Araponga, MG, vinculada à Universidade Federal de Viçosa, a pesquisa se propôs a testar a hipótese de que o cruzamento entre diferentes ecótipos pode significativamente aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do óleo, além de gerar uma variabilidade nas características produtivas que sinaliza potencial econômico para novos programas de melhoramento. Os objetivos específicos do estudo incluíram a determinação da herdabilidade dos traços do fruto, análise de correlações agronômicas, caracterização da diversidade genética entre os híbridos F1, e avaliação da qualidade do óleo, particularmente em relação à estabilidade oxidativa e ao perfil de ácidos graxos. Os resultados destacaram os genitores BGP 47-1, com um alto teor de óleo, e BGP 105-1, pela sua contribuição significativa à diversidade genética. Entre os híbridos, A4 e D32 se destacaram, com o D32 exibindo qualidades notáveis em termos de ácido oleico e estabilidade oxidativa, além de uma dissimilaridade genética marcante, indicando um potencial valioso para contribuir à diversidade genética em programas de melhoramento. Este estudo destaca a o papel da diversidade genética e da escolha cuidadosa de genitores na melhoria da produção e qualidade do óleo. Selecionando híbridos com atributos agronômicos desejáveis, promove-se o uso da macaúba em múltiplas aplicações, contribuindo para seu desenvolvimento como uma alternativa sustentável e econômica.

Palavras chaves: *Acrocomia*, Melhoramento genético, Herdabilidade

## ABSTRACT

BRÁS, Paloma, M.Sc., Federal University of Viçosa, December 2023. **Selection and characterization of parents and hybrids for the genetic improvement of macaúba.** Advisor: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-advisors: Evellyn Giselly de Oliveira Couto and Gleison Augusto dos Santos.

In a global scenario in search of renewable and sustainable alternatives for the energy sector, macaw palm (*Acrocomia aculeata*) emerges as a promising crop due to its productive potential and versatility of uses. This study focuses on the characterization and validation of the quality of fruits and oil from the F1 generation of macaw palm, derived from the crossing between distinct ecotypes, aiming to explore the influence of genetic diversity on productivity and desirable agronomic characteristics. Conducted at the Experimental Station of Araponga, MG, linked to the Federal University of Viçosa, the research proposed to test the hypothesis that crossing between different ecotypes can significantly increase productivity and improve oil quality, in addition to generating variability in productive characteristics that signals economic potential for new breeding programs. The specific objectives of the study included the determination of the heritability of fruit traits, analysis of agronomic correlations, characterization of genetic diversity among the F1 hybrids, and evaluation of oil quality, particularly in relation to oxidative stability and fatty acid profile. The results highlighted the parents BGP 47-1, with a high oil content, and BGP 105-1, for their significant contribution to genetic diversity. Among the hybrids, A4 and D32 stood out, with D32 exhibiting remarkable qualities in terms of oleic acid and oxidative stability, as well as a striking genetic dissimilarity, indicating a valuable potential to contribute to genetic diversity in breeding programs. This study underscores the role of genetic diversity and the careful selection of parents in improving production and oil quality. By selecting hybrids with desirable agronomic attributes, the use of macaw palm is promoted in multiple applications, contributing to its development as a sustainable and economical alternative.

Keywords: *Acrocomia*, Genetic improvement, Heritability

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa Geral da Unidade Experimental de Araponga e localização da área de plantio dos híbridos F1. ....	18
Figura 2- Equipamentos utilizados na avaliação dos atributos vegetativos em campo.....	21
Figura 3- Estruturas do fruto de um híbrido de macaúba: A) Epicarpo; B) endocarpo; C) mesocarpo; D) endosperma ou amêndoa; E) Fruto inteiro, seguido do fruto sem o epicarpo e corte transversal de um fruto inteiro .....	24
Figura 4 - Fluxograma das operações de análises em laboratório e derivação de produtos e subprodutos.....	27
Figura 5- Equipamentos para qualidade do óleo e armazenamento desses óleos em tubos falcon para análise: A) Equipamento 873 Biodiesel Rancimat; B) Prensa hidráulica; C) Amostra de 10 indivíduos acomodados em tubos falcon. ....	29
Figura 6-Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 12 indivíduos de macaúba, obtido pelo método Unweighted Pair-Group Method Arithmetic Average (Upgma), utilizando a distância de Mahalanobis. ....	39
Figura 7 -Gráfico de barras referente ao teor de óleo nos indivíduos de macaúba avaliados ....	42
Figura 8- Gráfico referente a variação do valor de indução de oxidação (io) em amostras de macaúba.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Genitores de macaúba e suas procedências geográficas .....	19
Tabela 2-Identificação de híbridos de macaúba e seus genitores.....	19
Tabela 3 – Siglas para cada variável mensurada dos frutos de indivíduos de macaúba.....	25
Tabela 4- Caracterização morfoagronômica dos indivíduos híbridos F1 de Macaúba .....	31
Tabela 5- Estimativas de Parâmetros Genéticos para os componentes do fruto e teor de óleo.....	33
Tabela 6 - Estimativas de correlação genética para 15 caracteres fisiológicos, relacionados aos frutos e teor de óleo, dos indivíduos de macaúba .....	36
Tabela 7 - Análises de agrupamento dos indivíduos de macaúba pelo método de Tocher com base na distância generalizada de Mahalanobis .....	38
Tabela 8 - Tabela de componentes das variáveis do fruto de macaúba com médias por indivíduo e diferenças significativas .....	41
Tabela 9 - Composição de ácidos graxos em diferentes indivíduos de Macaúba, obtidos da hibridização de acessos do BAG-Macaúba .....	45

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1.	Macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.) .....	11
2.2.	Importância socioeconômica.....	12
2.3.	O melhoramento genético da macaúba .....	14
3.	HIPOTESE .....	17
4.	OBJETIVOS.....	17
5.	METODOLOGIA.....	18
5.1.	Local de estudo e material botânico .....	18
5.2.	Características avaliadas .....	20
5.2.1	Caracterização morfológica e produtividade das plantas híbridas .....	20
5.3	Parâmetros genéticos .....	22
5.3.1	Correlação genética das variáveis.....	23
5.3.2	Diversidade genética.....	24
5.4	Biometria dos frutos das plantas híbridas .....	24
5.5	Teor de óleo.....	28
5.6	Estabilidade oxidativa (EO).....	28
5.7	Ácidos graxos .....	29
5.6	Delineamento e análise estatística.....	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1.	Caracterização morfológica dos indivíduos .....	31
6.2	Parâmetros genéticos .....	33
6.2.1	Correlação de Pearson para características biométricas e teor de óleo no mesocarpo .....	35
6.2.2	Estudo da diversidade genética e análise das características principais .....	37
6.3.	Biometria dos frutos .....	40
6.4	Teor de óleo no mesocarpo dos frutos.....	42
6.5	Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo.....	44
6.6	Ácidos graxos do mesocarpo .....	45
7	CONCLUSÕES .....	46
8	REFERÊNCIAS .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento significativo do cultivo de plantas oleaginosas em todo o mundo, resultando em maior demanda por áreas aráveis e pressões ambientais decorrentes das atividades agrícolas. A área destinada à produção de espécies oleaginosas cresceu de 170 milhões de hectares em 1961 para 425 milhões de hectares em 2017, representando aproximadamente 30% das terras cultiváveis globalmente (FAO, 2019). Atualmente as culturas mais cultivadas são a palma de óleo, a soja e a canola, responsáveis por mais de 80% da produção total, enquanto o algodão, coco, amendoim, girassol e azeitona compõem a grande maioria dos 20% restantes (USDA, 2020).

Com este cenário estima-se que a produção global de óleo vegetal cresça cerca de 1,5% ao ano até 2027 (OECD, 2017). O uso de óleos vegetais também está projetado para aumentar globalmente em 1,7% ao ano entre 2013 e 2050, partindo de uma base de 165 milhões de toneladas (Byerlee *et al.*, 2017). Como é improvável que a procura por óleos diminua, calcula-se que o mundo precisará produzir, em média, 3,86 milhões de toneladas adicionais de óleo vegetal por ano. Isso pode representar um grande desafio, considerando que o aumento do cultivo de oleaginosas pode ter impactos significativos na biodiversidade, no uso da terra, na segurança alimentar, nas mudanças climáticas, na degradação do solo e nos meios de subsistência de pequenos produtores e comunidades tradicionais (Meijaard *et al.*, 2020). Dessa forma, é importante considerar alternativas para suprir essa demanda crescente, como a utilização de outras espécies de oleaginosas, menos susceptíveis à seca ou elevadas temperaturas (iminentes numa perspectiva de alterações climáticas) e práticas que possam ter menor impacto ambiental e social.

A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.), espécie nativa não-domesticada, tem sido apontada como uma opção promissora em razão da sua rusticidade, da possibilidade de cultivo integrado (Montoya *et al.*, 2021), e do uso integral de seus frutos pelas indústrias de biodiesel (Michelin, 2015), cosmética (Velo *et al.*, 2023), alimentícia humana e animal (Garroni *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2019; Sobreira *et al.*, 2012), contribuindo para uma cadeia agroindustrial sustentável (Sari, 2015).

Diante dessa conjuntura fica nítido o potencial da macaúba, sendo que estudos de melhoramento genético são de extrema importância para sua domesticação. O melhoramento genético é a ciência e a arte de melhorar plantas para o benefício humano (Bernardo, 2002); assim é possível selecionar indivíduos de macaúba com características desejáveis visando maior produtividade, alto teor de óleo e composição nutricional adequada, resistência às pressões ambientais adversas – e, através de cruzamento direcionados, obter híbridos com características superiores, herdadas de seus genitores. Isso é essencial para atender o mercado mundial, hoje ávido por alimentos, energia renovável e matéria prima sustentável.

Desta forma, esse trabalho avaliou híbridos de macaúba, oriundos de cruzamentos direcionados de acessos genéticos pertencentes ao Banco de Germoplasma de Macaúba do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. Para tanto, foram utilizadas ferramentas da genética.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.)**

A macaúba, uma palmeira robusta e versátil, destaca-se na paisagem da América Latina. De acordo com Lorenzi (2006), esta palmeira tem uma distribuição geográfica que se estende desde o sul dos Estados Unidos e México, atravessando o Caribe até chegar ao sul da América, em países como Argentina e Bolívia, mas curiosamente, não é encontrada no Equador e Peru e as maiores concentrações ocorrem na América Central, Paraguai e Brasil (Wandeck; Justo, 1988). Sua descrição científica remonta a 1763, quando foi classificada como *Cocos aculeata* Jacq. a partir de espécimes da Martinica, no Caribe, conforme relata Jacquin (1763). Posteriormente, a macaúba foi reclassificada no gênero *Acrocomia* e, devido à sua variabilidade morfológica, acabou acumulando inúmeras sinonímias ao longo dos anos, como observado por Henderson *et al.* (1995) e Lorenzi *et al.* (2010).

Esta palmeira adapta-se bem a uma variedade de ambientes, sendo particularmente prevalente no Sudeste e centro-oeste do Brasil, regiões que incluem os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso, segundo Soares *et al.* (2014). Nativa da América Tropical, a *A. aculeata*, conhecida como macaúba, ocorre no Brasil de forma conspícua, principalmente nas regiões do cerrado de São Paulo e Minas Gerais, sendo este último considerado a centro de dispersão da espécie (Lanes *et al.*, 2015).

Com estipe único, os indivíduos podem atingir mais de 15m de altura e suas folhas plumosas podem mediar até 2m de comprimento. As plantas demonstram alta variabilidade genética, biométrica e fenotípica (Mazzottini-Dos-Santos *et al.*, 2015a; Vargas *et al.*, 2021), compatível com a sua extensa distribuição ecogeográfica (Lanes *et al.*, 2016). A pronunciada diversidade morfológica é inclusive a motivação para as contradições quanto a real existência de diferentes espécies do gênero *Acrocomia*. Henderson *et al.* (2019), no entanto, admite no Brasil somente duas espécies: a *A. hansseleri* (de ocorrência restrita) e a *A. aculeata* (de ocorrência mais ampla)

Planta monóica, apresenta flores masculinas e femininas na mesma inflorescência, porém com marcada protoginia, florando entre outubro e dezembro (Scariot *et al.*, 1991). Quanto ao sistema de reprodução, a espécie possui um sistema misto com predominância da alógamia, sendo besouros, abelhas e o vento os principais vetores de polinização (Abreu *et al.*, 2012; Henderson *et al.*, 1995; Lanes *et al.*, 2016; Scariot *et al.*, 1995; de Lima *et al.*, 2018). A dispersão das sementes ocorre principalmente por barocoria e por outros agentes de dispersão, podendo ser mamíferos de grande porte, aves e cursos d'água (Araújo *et al.*, 2017; Coelho *et al.*, 2018).

Em termos de agricultura e cultivo, Motoike *et al.* (2007) trouxeram contribuições significativas com o desenvolvimento de uma técnica eficaz de germinação e produção de sementes de macaúba. Este método envolve uma sequência de etapas, que inclui a remoção do endocarpo e desinfestações sucessivas, seguidas de tratamentos de embebição e escarificação mecânica, além da aplicação de reguladores de crescimento, culminando na germinação em condições semi-assépticas. Esta abordagem resultou em uma porcentagem de germinação entre 60% e 80%, com a obtenção de sementes pré-germinadas em apenas 32 dias (Manfio, 2010).

O cultivo eficiente da macaúba não apenas promove a utilização de uma espécie nativa com grande potencial econômico, mas também apoia o desenvolvimento sustentável ao proporcionar uma fonte renovável de energia, como o biodiesel, reforçando sua importância na diversificação da matriz energética.

## **2.2. Importância socioeconômica**

De acordo com projeções da FAO (2015), estima-se que a população mundial alcance cerca de 9,7 bilhões de pessoas até 2050, o que exigirá um aumento de 86% na produção de alimentos. É importante destacar que, em 2015, cerca de 795 milhões de

peças já sofriam com a fome e a má nutrição. Diante desse cenário, uma solução sugerida é a diversificação da produção agrícola, pecuária e de processamento, buscando aumentar a produtividade de forma sustentável e eficiente. Esse enfoque na diversificação pode contribuir para suprir a demanda crescente por alimentos, garantindo a segurança alimentar global.

A macaúba é uma cultura com alto potencial produtivo de óleo. A espécie pode alcançar uma produtividade de mais de 4000 litros de óleo por hectare, comparável ao de dendê (*Elais guineensis*), que chega a aproximadamente 6000 litros de óleo por hectare (Melo, 2012). Mesmo se encontrando no estágio inicial de melhoramento genético, percebe-se a viabilidade da macaúba para a produção de óleo vegetal; já que a soja, umas das principais fontes da matéria prima, rende apenas 500 litros por hectare (WW-FBRASIL,2023).

O óleo extraído dos frutos da macaúba pode ser oriundo da polpa ou da amêndoa. A amêndoa da macaúba é uma fonte rica em óleo, principalmente ácido láurico, representando aproximadamente 15% do total extraído da planta. Este óleo é altamente valorizado por suas aplicações nobres nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética, devido às suas propriedades únicas e benéficas (Ciconini *et al.*, 2012; Nobre *et al.*, 2014). Em contraste, o óleo extraído da polpa constitui cerca de 85% do total. Este óleo apresenta maior concentração de ácido oleico, oferecendo uma alternativa energética sustentável e promissora. Este aspecto é particularmente relevante diante dos desafios globais para a transição energética e a busca por combustíveis renováveis (Melo *et al.*, 2012; Nobre *et al.*, 2014).

Dominando o mercado global, o óleo de dendê corresponde a aproximadamente 40% da produção total de óleo vegetal. Já no contexto brasileiro o óleo de soja se destaca em relação aos demais, com 87% do volume produzido nacionalmente (USDA,2022). O óleo da macaúba, em cenário global e nacional, se mostra como um recurso valioso, conforme estudos de Berton *et al.* (2013) levando em conta as frações médias do fruto da macaúba (22,6% para a casca, 42,6% para a polpa, 28,4% para o endocarpo e 6,4% para o caroço), projeta-se que, sob condições conservadoras e com uma densidade de 400 árvores por hectare anualmente, a produção brasileira poderia alcançar 2,5 toneladas de óleo por hectare ao ano. Em umas condições mais favoráveis, essa produção poderia dobrar, atingindo 5 toneladas de óleo de polpa por hectare ao ano. Esses números sublinham o potencial expressivo da macaúba, que aparenta ser mais promissor que o dendê mesmo produzido sem intervenção de técnicas de melhoramento.

Além do óleo, os frutos da macaúba são uma fonte de coprodutos valiosos, contribuindo para uma economia circular e minimizando o desperdício. O endocarpo, por exemplo, possui potencial para ser transformado em carvão vegetal, uma alternativa energética mais limpa que os carvões tradicionais, ampliando ainda mais a gama de aplicações desta palmeira (Motoike *et al.*, 2013; Nobre *et al.*, 2014). Além disso, os farelos da polpa e amêndoa podem ser utilizados para suplementação animal. Este aproveitamento integral dos frutos, junto a capacidade da planta em tolerar seca, altas temperaturas e fogo, garante à macaúba papel de destaque no quesito de desenvolvimento agrícola sustentável.

Nos últimos anos foram discutidas as linhas de pesquisa prioritárias para a consolidação da cadeia produtiva da macaúba no Brasil (CTBE, 2017). Essas linhas de pesquisa abrangem diversas áreas, incluindo a organização de bancos de germoplasma e a geração de cultivares comerciais de elite, o aprimoramento de práticas culturais, estudos sobre a ecologia da polinização, clonagem, produção de mudas, valorização de coprodutos potenciais, zoneamento climático, mecanização da produção e beneficiamento de frutas, além da criação de uma rede de pesquisadores e colaboração de produtores (PORTAL MACAÚBA, 2023)

A macaúba, devido ao potencial agro-econômico, vem desde 2010 recebendo vários investimentos de fomentadoras governamentais e empresariais esses investimentos, refletidos em parcerias como a estabelecida com a Petrobras em 2010, e colaborações contínuas com empresas como, são essenciais para o avanço da cadeia produtiva da macaúba. A Rede Macaúba de Pesquisa (REMAPE), instituída em 2012 na Universidade Federal de Viçosa, complementa esses esforços em projetos multidisciplinares, focando em desafios para o cultivo em larga escala da macaúba no Brasil.

### **2.3. O melhoramento genético da macaúba**

O salto inicial para a domesticação da macaúba ocorreu com o desenvolvimento do protocolo de quebra de dormência das sementes (Motoike *et al.*, 2007). A partir dessa técnica foi possível germinar e produzir mudas de macaúba em larga escala, facilitando a instalação de plantios de inúmeros indivíduos de forma simultânea, que seja para fins de pesquisa (conservação *ex situ*, bancos de germoplasma, testes de progênies, sistemas de cultivo) quer seja para fins comerciais.

Manfio *et al.* (2012), valendo-se do protocolo de germinação, instalou as primeiras glebas do Banco de Germoplasma de Macaúba em Araponga/MG, pertencente ao DAA/UFV. Atualmente, o BAG - Macaúba conta com mais de 1.411 indivíduos e 302 genótipos, originários de diferentes procedências geográficas. Os indivíduos do BAG-MACAÚBA apresentam grande variabilidade fenotípica, sendo base para diversos estudos de pré-melhoramento. Sendo a macaúba uma cultura ainda incipiente os trabalhos desenvolvidos pelo grupo REMAPE - Rede Macaúba de Pesquisa e/ou desenvolvidos no BAG-MACAÚBA, são em sua maioria pioneiros, contribuindo significativamente para a pesquisa científica relacionada ao gênero *Acrocomia*.

Brito *et al.* (2013) investigou a biologia reprodutiva e a conservação do pólen em populações da espécie, almejando o avanço do conhecimento sobre a macaúba, sendo sua pesquisa útil para o melhoramento genético e a conservação da diversidade genética da espécie. Reforçando o que muito é falado sobre o potencial da Macaúba, Evaristo *et al.* (2016) ressaltam que a é uma fonte promissora de matérias-primas primárias e residuais para a produção de biocombustíveis. Porém, para alcançar uma escala de produção satisfatória, é necessário um programa de melhoramento que maximize a produção de frutos das plantas.

Montoya *et al.* (2016) constataram que a quantidade e a composição dos compostos orgânicos no mesocarpo da macaúba variam durante o desenvolvimento e crescimento do fruto, sendo o óleo a principal reserva. Essa informação é relevante para estudos futuros, tanto do ponto de vista ecológico quanto agrônômico, ao descrever as transformações temporais da macaúba. De maneira semelhante, Tilahun *et al.* (2019) examinaram o aumento do teor de óleo e as mudanças na qualidade do óleo do mesocarpo da macaúba ao longo do armazenamento. Frutos maduros armazenados em temperatura ambiente por 60 dias mantiveram uma qualidade aceitável até 20 dias, superando o óleo de palma, uma das principais fontes mundiais de óleo.

Já Matsimbe *et al.* (2015) desenvolveram um modelo para a predição do teor de óleo do mesocarpo da macaúba, utilizando espectrometria visível e infravermelho próximo. A espectroscopia VIS-NIR mostrou-se uma ferramenta viável para avaliação de genótipos em programas de melhoramento da macaúba, contribuindo para a seleção de plantas com maiores teores de óleo.

Outros estudos, de caráter genéticos fornecem informações valiosas para a formulação de estratégias adequadas de conservação no banco de germoplasma, visando preservar a variabilidade genética da espécie e maximizar seu potencial para programas

de melhoramento. Simiqueli *et al.* (2018) destacaram a necessidade de superar a depressão endogâmica que limita o desenvolvimento da *A. aculeata*, por meio de uma seleção recorrente recíproca para o melhoramento genético e a manutenção da variabilidade genética. Mengistu *et al.* (2016) também contribuíram para o entendimento da diversidade genética da *A. aculeata*, utilizando marcadores microssatélites em coleções *ex situ* de diferentes estados geográficos do Brasil.

Dando continuidade à pesquisa da macaúba, outros mecanismos e ações naturais da espécie, igualmente importantes para a consolidação do melhoramento da palmeira, devem ser abordados. Dentre estes os cruzamentos interespecíficos apresentam grande relevância para obtenção de materiais com características de interesse agrônomo. A heterose, também conhecida como vigor híbrido, se manifesta quando ocorre o cruzamento entre indivíduos diferentes, resultando em descendentes que são transgressivos em relação à média dos parentais (Brewbaker, 1969). Portanto, o desenvolvimento de novos híbridos depende da capacidade de combinação das linhagens que serão utilizadas na produção desses híbridos, sendo essencial o conhecimento das combinações superiores (Delboni *et al.*, 1989). A exploração da heterose é uma importante estratégia que pode ser implementada pelos programas de melhoramento. A alta produtividade, a homogeneidade da produção e sua qualidade são os principais avanços do uso do vigor híbrido no melhoramento de plantas (Borém e Miranda, 2009).

A herança através da hibridação entre genitores com características morfológicas divergentes tem maior probabilidade de sucesso na identificação de progênies e cruzamentos que possuíam potencial para gerar segregações. Considerando a divergência significativa em termos de características morfológicas e produção de óleo entre os acessos do BAG-Macaúba/UFV, SILVA (2019) iniciou o cruzamento direcionado entre plantas de procedências distintas, e com características de interesse, para a obtenção de híbridos. Entretanto, somente a partir de 2023 estes híbridos iniciaram sua produção, os quais foram o foco deste estudo.

Um marco atual para o melhoramento genético da espécie, foi firmado recentemente em julho de 2023 o acordo celebrado entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Empresa Acelen, representa um impulso significativo no campo do melhoramento genético, com o objetivo de otimizar a transição energética para combustíveis renováveis. Capitalizando quase duas décadas de pesquisa liderada pela UFV no melhoramento da macaúba, uma planta com alto potencial de produção de óleo

para biodiesel, este projeto promete avanços substanciais na domesticação e potencialização da espécie. A parceria possibilitará o desenvolvimento de variedades melhoradas de macaúba, adequadas a diversos ambientes, proporcionando uma base genética sólida para a produção em massa de sementes e mudas.

### **3. HIPOTESE**

Na pesquisa realizada, foi abordada a caracterização e validação da qualidade dos frutos da geração F1 de macaúba, originários do cruzamento entre genótipos, oriundos de localidades distintas e, conforme descrito por Silva em 2019. A análise centrou-se na hipótese de que a diversidade genética resultante do cruzamento entre os diferentes acessos genéticos de macaúba contribui para um aumento significativo na produtividade, em características genéticas de interesse de frutos e na qualidade do óleo. Já como hipótese secundária, que há uma variabilidade substancial nas características produtivas entre os híbridos da primeira geração (F1) e os genitores, indica a presença de indivíduos com características relevantes e para novos programas de melhoramento. Esta variabilidade pode ser explorada para identificar materiais com características agronômicas desejáveis para múltiplas aplicações, inclusive cruzamentos entre indivíduos ditos potenciais.

### **4. OBJETIVOS**

O trabalho teve como objetivo geral examinar as consequências dos cruzamentos entre diversos acessos de macaúba de diferentes procedências sobre as características produtivas e a qualidade do óleo, visando a diversificação de usos. Para tanto, buscou-se:

1. Determinar a herdabilidade dos traços do fruto, através da quantificação da contribuição genética para as variações fenotípicas em características importantes dos frutos.
2. Analisar correlações agronômicas, através da identificação das relações entre atributos agronômicos para otimizar traços sinérgicos para usos diversificados.

3. Caracterizar a diversidade genética através da avaliação da variabilidade genética dos híbridos F1 para selecionar indivíduos com características versáteis para o mercado.
4. Avaliar a qualidade do óleo empregando análises específicas para estabilidade oxidativa e perfil de ácidos graxos, fundamentais para aplicações como biodiesel e uso alimentício.
5. Realizar a Correlações fenotípicas de questões agronômicas

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Local de estudo e material botânico

O estudo foi conduzido no Banco Ativo de Germoplasma de Macaúba (BAGMacaúba), registro nº 084/2013 - SECEX / CGEN, situado na Unidade da Estação Experimental de Araponga – MG (latitude 20° 40' 01"S; longitude 42° 31'15"W), que é parte da Universidade Federal de Viçosa (Figura 1). A região possui uma altitude de aproximadamente 1000 metros, com uma precipitação média anual de 1.357 mm. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Cwb, o que indica verões chuvosos e invernos secos.

Figura 1- Mapa Geral da Unidade Experimental de Araponga e localização da área de plantio dos híbridos F1.



Fonte: Grupo REMAPE – UFV (2023)

As plantas utilizadas para as análises são os primeiros híbridos de macaúba, resultantes de polinização artificial conforme documentado por Silva (2019). Os cruzamentos foram realizados entre os anos de 2015 e 2017, a identificação dos genitores e os detalhes dos cruzamentos estão documentados respectivamente nas Tabelas 1 e 2. Os genitores foram selecionados com base em fenótipos contrastantes para características agrônômicas desejáveis (*Acrocomia aculeata* e *Acrocomia totai*), que incluem a presença e quantidade de espinhos, altura das plantas, produção e produtividade de frutos e óleo, bem como suas regiões de origem. O plantio dos híbridos ocorreu no dia 1º de março de 2018 na área 21 do BAG-Macauba, conforme ilustrado na (Figura 1).

Tabela 1-Genitores de macaúba e suas procedências geográficas

<b>Genitores</b>	<b>Origem</b>	<b>ID</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
BGP 105	Mato Grosso do Sul	<i>Acrocomia totai</i>	S 20°53'05''	W 55°51'50''
BGP 27	Minas Gerais	<i>Acrocomia aculeata</i>	S 19°56'28''	W 45°41'34''
BGP 47	São Paulo	<i>Acrocomia aculeata</i>	S 22°29'13''	W 50°46'20''
BGP 50	Minas Gerais	<i>Acrocomia aculeata</i>	S 19°10'7''	W 45°29'25''

Fonte: Adaptado de Silva (2019)

Tabela 2-Identificação de híbridos de macaúba e seus genitores

<b>F1</b>	<b>Mãe</b>	<b>Pai</b>
A1	BGP105(MS)	BGP27(MG)
A2	BGP105(MS)	N_identificado
A4	BGP105(MS)	BGP27(MG)
A7	BGP105(MS)	BGP27(MG)
A8	BGP105(MS)	N_identificado
A12	BGP105(MS)	N_identificado
A13	BGP105(MS)	BGP27(MG)
A17	BGP105(MS)	BGP27(MG)
A21	BGP105(MS)	N_identificado
A22	BGP105(MS)	N_identificado

A23	BGP105(MS)	N_identificado
B27	N_identificado	N_identificado
B28	BGP50(MG)	N_identificado
D32	BGP47(SP)	N_identificado

Fonte: Adaptado de Silva (2019)

## 5.2. Características avaliadas

As plantas selecionadas, tanto os híbridos da F1, quanto seus respectivos genitores foram avaliados em quesitos vegetativos e produtivos. A caracterização morfológica vegetativa e produtiva foi conduzida com o intuito de identificar as características fenotípicas das primeiras plantas híbridas de macaúba, cruzadas de forma artificialmente controlada. Quanto as características específicas dos frutos maduros, estes foram coletados de cada planta do estudo durante a safra de 2023 entre os meses de janeiro e abril. No Laboratório de Pós-Colheita da Universidade Federal de Viçosa, os frutos foram processados e passaram por caracterizações biométricas detalhadas, além de determinação do teor de óleo presente no mesocarpo adicionalmente, a qualidade do óleo da polpa foi avaliada através das análises de estabilidade oxidativa e o teor de ácidos. Com base em todas as avaliações, foi possível mensurar e estimar parâmetros genéticos, além de agrupar os indivíduos conforme a diversidade, corroborando para o melhoramento genético da espécie.

### 5.2.1 Caracterização morfológica e produtividade das plantas híbridas

Quanto à avaliação dos atributos vegetativos, foram avaliados os quatorze híbridos, considerados a altura total da planta (AP) medindo a distância do ápice da folha mais jovem até a base da planta no solo e a altura até a primeira inserção da espata (ATEspata). Para a determinação das Alturas, empregou-se um vertex Laser e clinômetro. Para aferir o Diâmetro a altura do peito (DAP), utilizou-se uma suta dendrométrica, permitindo medições precisas do diâmetro do tronco a 1,30 metros do solo em pontos opostos, e assim calculando-se um diâmetro médio representativo dessa variável. O Diâmetro da Copa (Dcopa) foi estimada através da média das medidas de distâncias longitudinais e transversais da copa, partindo dos extremos das folhas, com a utilização de uma fita métrica. A figura 2, é representativa do dia em campo, enfatizando todos os equipamentos utilizados.

Quanto aos atributos relacionados à produção, foram mensurados o número total de espatas emitidas (NTE), o número de cachos produtivos por planta (NCP) e o peso

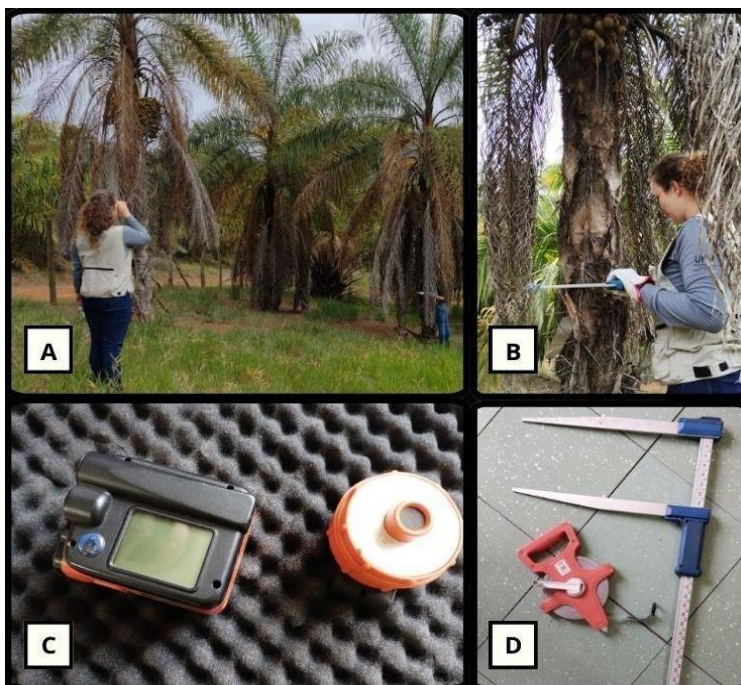
total dos frutos por planta (PTFP), além do volume dos indivíduos, considerando o estipe ( $V_i$ )

Para calcular o volume dos indivíduos, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$V_i = [0.00006067 * ((DAP_i)^{1.953}) * ((H_{ti})^{1.006})]$$

( $V_i$ ) é o volume do iésimo indivíduo em metros cúbicos, ( $DAP_i$ ) é o diâmetro à altura do peito do iésimo indivíduo em centímetros, e ( $H_{ti}$ ) é a altura total do iésimo indivíduo em metros. Esta fórmula, elaborada por Silva em 2019, baseou-se em dados de um estudo prévio e demonstrou uma alta precisão com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 99,17%. Para a densidade básica da madeira e casca e estipe, os dados foram obtidos por meio de consulta a um estudo conduzido na mesma área por Brianézi em 2012. Essas informações são fundamentais para compreender a composição física e a biomassa das plantas, fornecendo dados valiosos para o manejo sustentável e a utilização eficiente dos recursos vegetais.

Figura 2- Equipamentos utilizados na avaliação dos atributos vegetativos em campo.



Descrição da Figura 2: Ilustração do processo de avaliação dos atributos vegetativos, destacando: A) a estimativa da altura da planta com o uso de vertex e clinômetro; B) a medição do diâmetro à altura do peito (DAP) com suta dendrométrica; C) detalhes do vertex laser e clinômetro; D) a utilização da fita

métrica para a projeção da copa. A imagem ilustra a aplicação prática dos instrumentos em um cenário de campo.

### 5.3 Parâmetros genéticos

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e a existência de variabilidade para as características avaliadas foi confirmada por meio do teste T, aplicando um nível de significância de 5%. Foi realizada estimativas precisas dos componentes de variância, incluindo a Variância Fenotípica ( $\sigma^{2p}$ ), a Variância Genotípica ( $\sigma^{2g}$ ), e a Variância Ambiental ( $\sigma^2_e$ ). Adicionalmente, se calculou os parâmetros genéticos de herdabilidade ( $h^2$ ), Coeficiente de Variação Genética (CVg), Razão entre CVg e CVe(CVg/CVe) e Acurácia da Estimativa Genética (Rgg). Conforme as equações a seguir:

$$h^2 = \left[ \frac{\sigma^{2g}}{\sigma^{2p}} \right]$$

Neste contexto,  $h^2$  representa a Herdabilidade,  $\sigma^{2g}$  a Variância Genotípica, e  $\sigma^{2p}$  a Variância Fenotípica.

$$CVg^2 = \left( \sqrt{\frac{\sigma^2_g}{\bar{x}}} \right) \times 100 ,$$

Onde o Coeficiente de Variação Genética é CVg  $\sigma g^2$  é a variância genética

$$Rgg = \sqrt{1 - \frac{1}{F}} , \text{ Equação 7}$$

Onde a Acurácia da Estimativa Genética é Rgg, F é o tamanho efetivo da família ou o número de repetições Conforme Resende e Duarte (2007), a estatística 'Rgg' varia de 0 a 1 (Ou 0% a 100%) e pode ser classificada da seguinte maneira:

- Muito alta:  $Rgg \geq 90,0$ .
- Alta:  $90,0 \leq Rgg < 70,0$ .
- Moderada:  $70,0 \leq Rgg < 50,0$ .
- Baixa:  $Rgg < 50,0$ .

Além das mensurações supracitados, realizou-se a Média Geral ( $\bar{x}$ ) dos dados, sendo calculada como a média aritmética de todas as observações. Ademais, o Coeficiente de Variação Experimental (CVe%), sendo determinado pela razão entre o desvio padrão e a média, multiplicado por 100. Todas as análises foram processadas utilizando o software estatísticos Genes (CRUZ, 2013).

### 5.3.1 Correlação genética das variáveis

As estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson foram obtidas por meio de análises de covariâncias. Esta abordagem envolveu a combinação de caracteres dois a dois, conforme descrito por Cruz e Regazzi (2004). Além do coeficiente de correlação, também determinamos o intervalo de confiança (IC) de 95% para cada correlação. Isso nos permitiu avaliar a precisão de nossas estimativas de correlação e fornecer um intervalo dentro do qual esperamos que a verdadeira correlação populacional caia. A significância estatística de cada correlação foi avaliada usando o valor-p. Um valor-p baixo (tipicamente  $< 0.05$ ) indica que a correlação observada é improvável de ser devido ao acaso, sugerindo uma relação significativa entre as variáveis.

Utilizamos a seguinte fórmula para calcular a correlação:

$$r_s = \frac{PMT_{xy}}{\sqrt{(\sigma^2_{gx} \cdot \sigma^2_{gy})}}$$

onde:

- $r_s$  correlação genética;
- $PMT_{xy}$ : produtos médios associados aos efeitos de tratamentos em relação às características x e y;
- $\sigma^2_{gx}$  e  $\sigma^2_{gy}$ : estimativas das variâncias genotípicas das características x e y, respectivamente.

Para a interpretação das grandezas das correlações, adotou-se a classificação proposta por Shimakura e Ribeiro Junior (2006):

- 0.0 a 0.19 – Muito Fraca;
- 0.20 a 0.39 – Fraca;
- 0.40 a 0.69 – Moderada;
- 0.70 a 0.89 – Forte;

- 0.90 a 1.00 – Muito Forte.

### 5.3.2 Diversidade genética

Para análise da diversidade genética relativa às variáveis fenotípicas do fruto, adotou-se a Distância Generalizada de Mahalanobis como método principal para estimar a distância genética. Esta escolha foi fundamentada na capacidade deste método de incorporar a correlação entre variáveis, uma característica essencial devido às repetições observadas nos dados fenotípicos, proporcionando uma estimativa mais acurada da diversidade genética entre os genótipos analisados (Cruz & Regazzi, 2001).

Já para a formação de grupos genéticos, utilizaram-se dois métodos complementares: o método de otimização de Tocher e o método hierárquico UPGMA.

O método de Tocher se destaca por estabelecer grupos baseando-se na minimização da distância média intragrupo, assegurando que cada grupo seja homogêneo internamente e distinto dos demais grupos (Rao, 1952). Paralelamente, o método

UPGMA foi aplicado devido à sua abordagem sistemática na formação de dendrogramas, que agrupa os genótipos a partir de médias das distâncias entre todos os pares de genótipos, facilitando a visualização da estrutura da diversidade genética.

A utilização conjunta desses métodos permite uma análise detalhada da diversidade genética, garantindo a identificação eficaz das relações genéticas entre os genótipos com base em suas características fenotípicas.

### 5.4 Biometria dos frutos das plantas híbridas

Para as análises biométricas dos frutos foram utilizados frutos maduros por planta que produziu na safra 2022/2023 especificamente quatro frutos, conforme recomendado pelo estudo de repetibilidade de Manfio *et al.* (2011) que garante 90% de precisão. Com os frutos ainda intactos e recém-colhidos, mensurou-se com um paquímetro digital os diâmetros radiais (DRF) e axial (DAF), o peso fesco total do fruto (PTF) em uma balança de precisão. Em seguida separou-se cuidadosamente ainda úmidos os componentes: epicarpo, mesocarpo (polpa), endocarpo e semente (amêndoa) (Figura 3), houve mensuração das partes úmidas, uma vez que os frutos frescos de macaúba apresentam elevada umidade quando maduros (Favaro *et al.*, 2017).

Figura 3- Estruturas do fruto de um híbrido de macaúba: A) Epicarpo; B) endocarpo; C) mesocarpo; D) endosperma ou amêndoa; E) Fruto inteiro, seguido do fruto sem o epicarpo e corte transversal de um fruto inteiro



O peso fresco das partes foi aferido em balança digital. Logo após, as estruturas foram secas em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 65°C, por 24 horas. Finalizada a secagem, os pesos secos foram obtidos e a espessura do endocarpo foi medida em duas regiões distintas para cada repetição, para maior compreensão dos passos, foi elaborado um fluxograma de operações manuais para os frutos de macaúba e os produtos e possíveis subprodutos gerados (Figura 4).

Visando colaborar com uma compreensão mais profunda das propriedades físicas e químicas dos frutos estudados, com os dados biométricos obtidos, foi possível calcular o Índice de massa processável (IMP) pela fórmula:

$$\text{IMP} = [(DRF) - 2x EDB]$$

Onde DRF é o diâmetro radial do fruto e EDB a segunda espessura do endocarpo

Para facilitar entendimento das 14 variáveis analisadas e padronizar, foi estabelecido siglas, com base no nome de cada variável mensurada na caracterização biométrica

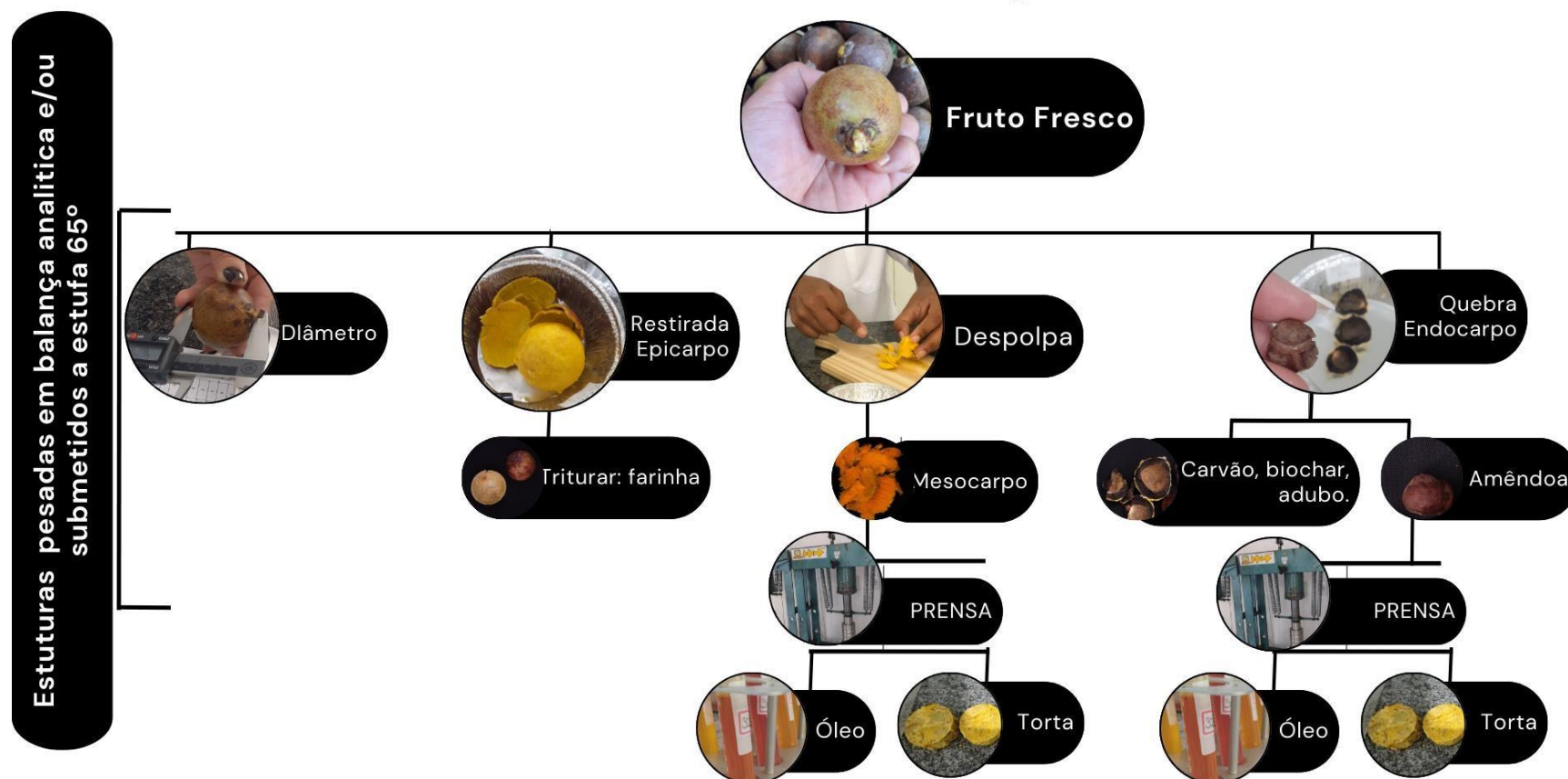
Tabela 3 – Siglas para cada variável mensurada dos frutos de indivíduos de macaúba

<b>Sigla</b>	<b>Variável</b>
<b>IMP</b>	Índice de massa processável
<b>PTF</b>	Peso Total do Fruto Fresco
<b>DRF</b>	Diâmetro Radial do Fruto
<b>DAF</b>	Diâmetro Axial do Fruto
<b>EDA</b>	Espessura do Endocarpo 1

<b>EDB</b>	Espessura do Endocarpo 2
<b>PFE</b>	Peso Fresco do Epicarpo
<b>PFS</b>	Peso Seco do Epicarpo
<b>PFP</b>	Peso Fresco Mesocarpo/Polpa
<b>PSP</b>	Peso Seco do Mesocarpo/Polpa
<b>PFD</b>	Peso do Endocarpo Fresco
<b>PSD</b>	Peso do Endocarpo Seco
<b>PFA</b>	Peso da Amêndoa Fresca
<b>PSA</b>	Peso da Amêndoa Seca

Figura 4 - Fluxograma das operações de análises em laboratório e derivação de produtos e subprodutos

## FLUXOGRAMA DE OPERAÇÕES MANUAIS



### 5.5 Teor de óleo

O teor de óleo do mesocarpo (TOM) foi avaliado utilizando-se aproximadamente 2 g de cada material desidratado. Para isso, as amostras foram inseridas em cartuchos de papel e submetidas ao método de extração direta em “Soxhlet”, utilizando n-hexano (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) a 80° C como solvente orgânico. A fim de determinar o teor de óleo, expresso em porcentagem, fez-se uso da seguinte equação:

$$\text{TOM (\%)} = \left[ \frac{P1-P2}{P1-P} \right] \times 100$$

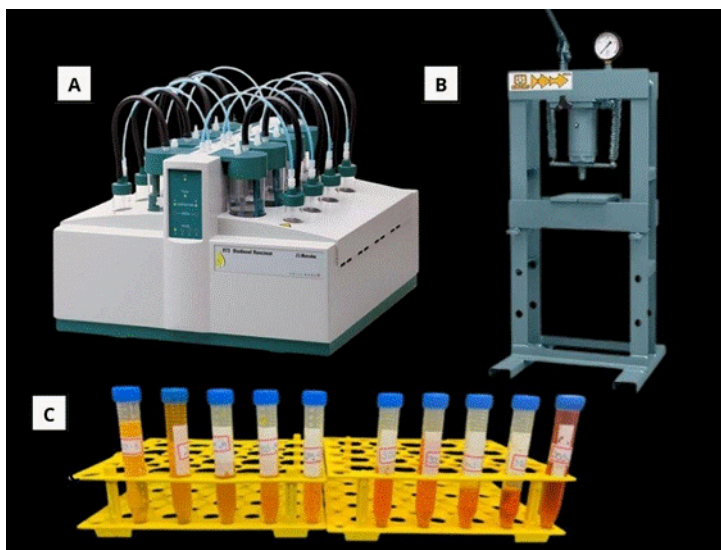
Onde TOM (%) representa o teor de óleo em porcentagem, P é o peso do cartucho vazio, P1 é o peso do cartucho com as amostras antes da extração do óleo, e P2 é o peso do cartucho após a extração do óleo. Após a realização da extração, os pesos foram cuidadosamente registrados para garantir a precisão dos resultados, permitindo assim uma avaliação detalhada do potencial oleaginoso do mesocarpo da macaúba.

### 5.6 Estabilidade oxidativa (EO)

Para avaliar a estabilidade oxidativa de amostras de óleo do mesocarpo da macaúba, utilizou-se o método Rancimat, conforme as diretrizes da American Oil Chemists Society (AOCS, 1994). Os ensaios foram realizados com o auxílio do equipamento 873 Biodiesel Rancimat® (Metrohm, Suíça), as metodologias de análise da estabilidade oxidativa são baseadas em padrões europeus, especificamente as normas EN 14112 e EN 15751, reconhecidas pela normativa brasileira (ANP 2023).

O 873 Biodiesel Rancimat® foi utilizado para medir o período de indução, que é o tempo até a detecção da formação de ácidos orgânicos voláteis, produtos da oxidação da amostra sob condições controladas. Os frutos foram previamente secos em estufa por 24 horas a 65° graus, as amostras, foram provenientes da extração a frio de 10 frutos por plantas, utilizando a prensa hidráulica (Ribeiro), os óleos de cada amostra foram guardados e acomodados em tubos falcon (Figura 5), retirou-se de cada amostra um peso de 2,50 ± 0,01 g de óleo de macaúba, foi colocada em um tubo de ensaio de reação e submetida a uma temperatura constante de 110 °C, sob um fluxo de ar de 10,0 L/h. O sistema de detecção do aparelho baseia-se na medição da condutividade elétrica, que aumenta com a presença de ácidos orgânicos voláteis na água desionizada.

Figura 5- Equipamentos para qualidade do óleo e armazenamento desses óleos em tubos falcon para análise: A) Equipamento 873 Biodiesel Rancimat; B) Prensa hidráulica; C) Amostra de 10 indivíduos acomodados em tubos falcon.



O teste Rancimat simula um processo de envelhecimento acelerado, no qual os ácidos graxos presentes na amostra são oxidados ao serem expostos ao ar quente. O equipamento registra continuamente a condutividade e determina o período de indução, que é o intervalo até que ocorra um aumento significativo dessa condutividade, indicando a quebra da estabilidade oxidativa. Os resultados foram expressos em horas (h), representando o tempo de indução medido. Esse período é um indicativo da resistência da amostra à oxidação e, conseqüentemente, da sua estabilidade oxidativa. Uma maior durabilidade do período de indução sugere uma maior resistência do óleo de macaúba à oxidação, o que é desejável para a preservação de suas propriedades e qualidade em aplicações industriais.

### 5.7 Ácidos graxos

Os óleos extraídos da polpa foram caracterizados conforme o seu perfil de ácidos graxos, utilizando-se a técnica de cromatografia gasosa. As amostras de óleo foram injetadas em um cromatógrafo gasoso, modelo Shimadzu GC-2010 Plus, que estava equipado com um injetor automático, um detector por ionização de chama (FID) e uma coluna capilar SP-2560. Esta coluna tinha especificações de 0,14  $\mu\text{m}$  de espessura de filme, 75 m de comprimento e 0,18 mm de diâmetro interno, o que permitiu uma separação eficiente dos componentes graxos.

Os ácidos graxos presentes nas amostras foram identificados comparando-se os tempos de retenção obtidos com aqueles de padrões analíticos conhecidos. A quantificação dos ácidos graxos foi realizada por meio da comparação das áreas dos

picos individuais de cada ácido graxo com a área total de todos os ácidos graxos presentes na amostra. Para a construção da curva analítica, foi adaptada uma metodologia previamente estabelecida para o licuri (Nevez,2021), garantindo assim a precisão e a comparabilidade dos resultados. Utilizou-se uma mistura padrão de 37 ésteres metílicos de ácidos graxos para a calibração e a quantificação foi feita mediante a normalização da área percentual.

### **5.6 Delineamento e análise estatística**

No estudo em questão, empregou-se o delineamento experimental completamente aleatorizado (DIC) para investigar a presença de variância genética nos frutos entre os diferentes indivíduos avaliados. Essa escolha metodológica é fundamental para assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Para as avaliações que apresentaram repetições, foi realizada análise de Variância para testar a hipótese de existência de variância genética significativa entre os indivíduos, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) para cada característica de interesse. O software Genes (Cruz, 2013) foi utilizado para conduzir essas análises, para o tratamento estatístico dos dados genéticos. Segundo o seguinte Modelo Estatístico:

$$Y_{ij}=\mu+g_i+e_{ij}$$

onde:

- $Y_{ij}$ : representa a observação relacionada ao  $i$ -ésimo genótipo na  $j$ -ésima medição;
- $\mu$ : é a média geral, considerando todos os indivíduos e medições;
- $g_i$ : corresponde ao efeito aleatório do  $i$ -ésimo genótipo, que inclui a influência do ambiente; e
- $e_{ij}$ : denota o efeito do ambiente específico associado à observação
- $Y_{ij}$ , relativo à  $j$ -ésima medição no  $i$ -ésimo genótipo.

Essa formulação do modelo permite desagregar os efeitos genéticos dos efeitos ambientais, facilitando a compreensão da variabilidade genética entre os indivíduos sob diferentes condições ambientais.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Caracterização morfológica dos indivíduos

A abordagem do presente trabalho permitiu uma compreensão mais profunda das interações entre a genética e as características físicas/morfológicas das plantas em F1. Os resultados apresentados na Tabela 4 fornecem informações valiosas para o planejamento de estratégias de melhoramento genético e manejo agrônomico na cultura da macaúba.

Tabela 4- Caracterização morfoagronômica dos indivíduos híbridos F1 de Macaúba

F1	CARACTERES PRODUTIVOS				CARACTERES VEGETATIVOS				
	NCP (2022/2023)	NCP (2023/2024)	NTE	PTFP (kg.cacho <sup>1</sup> )	DAP (Cm)	ATEspata (m)	AP (m)	DCOPA (m)	Vi (m <sup>3</sup> )
A1	5	3	0	8,01	26,3	3,9	6	5,3	0,142
A2	4	4	3	4,45	30,2	3,4	6,1	4,5	0,161
A4	3	3	2	9,42	28,9	4,3	7,8	5,3	0,188
A7	6	5	3	20,98	31,9	4,8	7	5,6	0,254
A8	3	3	3	1,50	29,4	3,7	7	5,2	0,167
A12	0	3	0	0	34,2	3,5	6,9	5,9	0,211
A13	0	0	0	0	36,8	3,3	6,1	4,7	0,231
A17	6	4	2	20,19	28,3	5,2	8	4,6	0,217
A21	5	3	5	8,26	30	3,2	5,6	5,5	0,150
A22	0	3	4	0	32,8	4,2	7,2	5,0	0,235
A23	0	0	3	0	37,4	4,1	7,5	5,2	0,296
B27	0	0	2	0	23,6	2,9	4,8	3,9	0,085
B28	0	3	0	0	27,3	3,7	5,9	5,4	0,144
D32	5	8	0	15,26	28,0	4,3	7,8	5,0	0,176

A tabela apresenta valores médios para os diâmetros e valores reais unitários individuais por híbrido para demais variáveis: Altura Total da Planta (AP); Altura até a Primeira Inserção da Espata (ATEspata); Diâmetro à Altura do Peito (DAP); Diâmetro da Copa (Dcopa); Número Total de Espatas Emitidas (NTE); Número de Cachos Produtivos por Planta (NCP)- safras de 2022/2023 e 2023/2024; Peso total dos frutos por planta (PTFP) e Volume da estipe dos Indivíduos (Vi).

A produtividade para o primeiro ano de colheita (Número de Cachos Produtivos por Planta (NCP)- safras de 2022/2023) se mostra interessante e se deu para maioria das plantas com 4 anos, contrário a Mota (2011) que relata que a macaúba inicia sua produção entre 5 e 7 anos.

Os padrões de produção dos híbridos F1 observados revelam variações na produção de cachos, sugerindo fases de maturação e possível bianualidade, caracterizada por alternância anual de altas e baixas produtividades (DaMatta *et al.*,

2007). A limitação dos dados impede a confirmação da bianualidade, mas padrões em indivíduos como A1 e A22 apontam para essa tendência. A1 mostrou uma redução na produção de cachos na segunda safra (5 cachos em 22/23, 3 cachos em 23/24). Por outro lado, A22 que nada havia produzido na primeira safra, já se mostra produtivo (0 cachos em 22/23, 3 cachos em 23/24). A observação de padrões similares em outros indivíduos sugere a presença de bianualidade na Macaúba, fenômeno já conhecido em culturas como *Coffea sp.* (Santinato et al., 2019), mas que permanece como hipótese como sugerido por Barbosa (2021).

Em relação aos resultados para diâmetro do estipe (DAP), estão de acordo com a literatura, sendo que, segundo Mota (2011) o estipe varia de 20 a 30 cm de diâmetro. Silva (2003) afirmou que entender a dinâmica de crescimento de espécies arbóreas é fundamental para conciliar e atender produção e conservação. Porém, os indivíduos A13 e A23 apresentaram DAPs elevados, e baixa produtividade dos cachos. Assim, os resultados obtidos podem ser reflexo das diferentes combinações genéticas.

De acordo com Durlo (1998), um aspecto importante para adquirir informações sobre as espécies é a obtenção das dimensões de copa, para conhecer o espaço ocupado por uma árvore e, fazer inferências sobre produtividade, espaçamento para plantio, vitalidade e estabilidade dos indivíduos. O peso total dos frutos por planta é uma medida direta da produtividade, plantas com copas maiores (Dcopa) podem ter maior capacidade de produzir frutos devido à maior área foliar para fotossíntese, porém outros fatores podem influenciar a produção além das dimensões físicas da planta. Assim é importante frisar que, embora o período relativo aos estádios fenológicos de uma cultura seja fixado geneticamente, variações ambientais podem condicionar o desenvolvimento indiferente a sua idade cronológica (Gatsuk *et al.*, 1980). Essa observação é crucial, pois indica que a eficiência produtiva das plantas não pode ser inferida apenas por medidas físicas isoladas.

O volume do estipe é fundamental para avaliar a biomassa e o estoque de carbono em palmeiras, como demonstrado no estudo de Costa *et al.* (2018) com a carnaúba. O volume do estipe influencia diretamente na quantidade de carbono sequestrado, onde maiores volumes podem significar uma maior contribuição para a mitigação das mudanças climáticas, além disso, o volume pode influenciar e estar ligado a fonte de armazenamento e reserva ligados a fisiologia da planta. Esta relação sublinha a importância do volume do estipe não apenas para a compreensão do crescimento e

produtividade das plantas, mas também para seu papel no ciclo do carbono e contribuir com o papel socioambiental em programas de melhoramento.

## 6.2 Parâmetros genéticos

Estimativas de parâmetros genéticos para os componentes do fruto e teor de óleo. são apresentados na Tabela 5. A herdabilidade ( $h^2$ ) é uma medida importante para o melhoramento genético de plantas e pode ser usada para avaliar a variabilidade genética de uma população, sendo um parâmetro que pode variar amplamente, dependendo da planta em questão (Falconer *et al* 1996). A análise revelou que para todas as características avaliadas de herdabilidade ( $h^2$ ) ultrapassou os 50%, o que, segundo a classificação de Resende (2002), as coloca na categoria de alta herdabilidade, assim as expressões da característica provêm da parte genética e que tem elevada chance de ser herdado pela próxima geração.

Tabela 5- Estimativas de Parâmetros Genéticos para os componentes do fruto e teor de óleo.

Parâmetros Genéticos						
Característica	$\bar{x}$	CVe (%)	CVg (%)	CVg/CVe	Rgg	$h^2$
<b>PTF</b>	33,380	6,990	28,393	4,062	0,993	98,510
<b>IMP</b>	30,220	3,410	9,173	2,690	0,983	96,660
<b>DRF</b>	38,750	2,490	7,137	2,866	0,985	97,050
<b>DAF</b>	39,700	3,900	5,873	1,506	0,949	90,090
<b>PED</b>	4,800	8,790	12,408	1,412	0,943	88,850
<b>SED</b>	4,260	8,040	10,381	1,291	0,933	86,960
<b>PFE</b>	9,210	13,990	23,502	1,680	0,958	91,860
<b>PFS</b>	4,630	8,700	23,159	2,662	0,983	96,590
<b>PFP</b>	17,320	7,550	34,973	4,632	0,994	98,850
<b>PSP</b>	10,290	9,730	36,930	3,796	0,991	98,300
<b>PSD</b>	6,440	8,120	26,227	3,230	0,988	97,990
<b>PSE</b>	8,320	7,930	27,649	3,487	0,990	97,990
<b>EDA</b>	1,930	21,840	33,200	1,520	0,950	90,240
<b>EDB</b>	1,490	14,740	34,620	2,349	0,978	95,670
<b>TOM</b>	33,240	9,530	38,087	3,997	0,992	98,460

$\bar{x}$ : média geral; CVe: Coeficiente de Variação Experimental; CVg: Coeficiente de Variação Genética; CVg/CVe: razão entre CVg e CVe; Rgg: Acurácia da Estimativa Genética;  $h^2$ : Herdabilidade. *Peso Total do Fruto Fresco (PTF)*, *Diâmetro Radial do Fruto (DRF)*, *Diâmetro Axial do Fruto (DAF)*, *Peso do Endocarpo Seco (PED)*, *Espessura do Endocarpo 1 (EDA)*, *Espessura do Endocarpo 2 (EDB)*, *Peso Fresco do Epicarpo (PFE)*, *Peso Seco do Epicarpo (PFS)*, *Peso Fresco do Mesocarpo ou Polpa (PFP)*, *Peso Seco do Mesocarpo ou Polpa (PSP)*, *Peso do Endocarpo Fresco (PFD)*, *Peso do Endocarpo Seco (PSD)*, *Peso da Amêndoa Fresca (PFA)*, *Peso da Amêndoa Seca (PSA)* e *Teor de óleo no mesocarpo(TOM)*

Os altos valores de  $h^2$  encontram-se paralelos aos achados de Alcântara (2016), que reportou alta herdabilidade em caracteres do endosperma de macaúba, apesar de uma baixa variabilidade. Este padrão sugere um controle genético marcante em certas características das plantas. A acurácia da estimativa genética ( $R_{gg}$ ) para estas características, seguindo a classificação de Resende e Duarte (2007), é igualmente notável, pois todos os valores obtidos enquadram-se na categoria alta magnitude, apresentando valores mínimos de 0,933 para SED e máximo de 0,993 para PTF o que reforça a precisão e confiabilidade dos resultados.

Já o Coeficiente de Variação Experimental (C<sub>Ve</sub>), sendo esse um aspecto fundamental, foi contextualizado com base na classificação de Pimentel-Gomes (2009), que categoriza o C<sub>Ve</sub> como baixo quando inferior a 10%, médio entre 10 e 20%, alto entre 20 e 30%, e muito alto quando superior a 30%. A maioria das características do fruto, como Peso Total do Fruto Fresco (PTF), Diâmetro Radial (DRF) e Diâmetro Axial (DAF), apresentou um C<sub>Ve</sub> baixo, evidenciando alta precisão experimental. Contudo, características como Espessura do Endocarpo 1 (EDA) e Espessura do Endocarpo 2 (EDB) exibiram um C<sub>Ve</sub> médio a alto, indicando maior variabilidade, possivelmente por se tratar de uma estrutura desuniforme. Apesar desta variabilidade, a alta herdabilidade dessas características sinaliza um forte controle genético. Este panorama destaca que algumas características do fruto são predominantemente controladas geneticamente, enquanto outras podem ser mais influenciadas pelo ambiente, sendo essencial para orientar estratégias de melhoramento genético e práticas de manejo.

Os resultados obtidos neste estudo, que evidenciam um controle genético significativo de várias características do fruto, são valiosos para entender os processos evolutivos e adaptativos das plantas, contribuindo assim para estratégias eficazes de conservação de espécies. De fato, os estudos de Lucio *et al.* (2019) enfatizam a importância da biometria de frutos para a conservação das espécies. Portanto, este estudo atual oferece uma contribuição significativa ao campo do melhoramento genético e conservação de espécies. Os resultados destacam a importância de compreender a herdabilidade e a acurácia da estimativa genética nas características dos frutos, fornecendo uma base sólida para futuras iniciativas de seleção e conservação, e evidenciando a relevância do controle genético nas características dos frutos em programas de melhoramento genético.

### 6.2.1 Correlação de Pearson para características biométricas e teor de óleo no mesocarpo

A tabela de Correlações de Pearson oferece uma perspectiva crucial para a pesquisa em melhoramento genético de plantas. Observamos conexões significativas entre várias características dos frutos de macaúba, que são essenciais para a pesquisa agrônômica e a entender relações lineares entre variáveis aleatórias como Carvalho *et al.* (2004) destacam. A categorização das correlações, conforme Shimakura e Ribeiro Junior (2006), ajuda a diferenciar o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. As correlações fortes (acima de 0,70) indicam uma relação linear significativa, enquanto valores mais próximos de zero representam uma relação mais fraca (Filho 2009). Essa distinção é crucial para entender a intensidade da relação entre as variáveis estudadas.

A relação positiva significativa entre o Peso Fresco do Epicarpo (PFE) e o IMP, apresentou correlação muito forte de 0,904. Esta relação indica que alterações no peso do epicarpo estão fortemente associadas a mudanças no IMP, o que pode ser relevante para objetivos específicos de melhoramento genético, como o desenvolvimento de frutos com características desejadas de casca ou epicarpo. Outra correlação positiva ocorreu entre o Peso Total do Fruto Fresco (PTF) e o Diâmetro Radial do Fruto (DRF) (0,970) e com o Diâmetro Axial do Fruto (DAF) (0,744) exemplifica essa utilidade (Tabela 6). Estes dados apoiam a ideia de Caierão *et al.* (2001) sobre a importância da hereditariedade dos caracteres no processo de seleção indireta para ganhos em características econômicas. A correlação forte entre essas variáveis indica uma relação linear significativa, o que é fundamental para o planejamento de estratégias de melhoramento.

Correlações negativas significativas também foram obtidas, como entre a Espessura do Endocarpo Seco (SED) e o Diâmetro Axial do Fruto (DAF) (-0,618). Este resultado pode ter implicações práticas no desenvolvimento de frutos com características específicas de endocarpo e tamanho. Entretanto, é vital lembrar, conforme, que a correlação de Pearson não implica causalidade entre variáveis (Schield 1995). A correlação entre duas variáveis, X e Y, não estabelece que uma cause a outra, mas apenas que há semelhanças na distribuição dos seus escores. Assim, ao interpretar esses resultados, é essencial considerar a complexidade das relações genéticas e fenotípicas, sem assumir uma relação causal direta.

Tabela 6 - Estimativas de correlação genética para 15 caracteres fisiológicos, relacionados aos frutos e teor de óleo, dos indivíduos de macaúba

	PTF	IMP	DRF	DAF	PED	SED	PFE	PFS	PFP	PSP	PFD	PSD	PFA	PSA	TOM
PTF	1														
IMP	0,878**	1													
DRF	0,970**	0,939**	1												
DAF	0,744*	0,760*	0,824**	1											
EDA	0,192 <sup>ns</sup>	0,072 <sup>ns</sup>	0,175 <sup>ns</sup>	0,077 <sup>ns</sup>	1										
EBA	-0,517 <sup>ns</sup>	-0,349 <sup>ns</sup>	-0,490 <sup>ns</sup>	-0,618*	-0,159 <sup>ns</sup>	1									
PFE	0,746*	0,904**	0,773**	0,527 <sup>ns</sup>	-0,162 <sup>ns</sup>	-0,196 <sup>ns</sup>	1								
PFS	0,264 <sup>ns</sup>	0,474 <sup>ns</sup>	0,313 <sup>ns</sup>	0,353 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>ns</sup>	-0,164 <sup>ns</sup>	0,571 <sup>ns</sup>	1							
PFP	-0,253 <sup>ns</sup>	-0,474 <sup>ns</sup>	-0,394 <sup>ns</sup>	-0,399 <sup>ns</sup>	-0,339 <sup>ns</sup>	-0,127 <sup>ns</sup>	-0,276 <sup>ns</sup>	-0,463 <sup>ns</sup>	1						
PSP	0,031 <sup>ns</sup>	-0,227 <sup>ns</sup>	-0,098 <sup>ns</sup>	-0,157 <sup>ns</sup>	-0,469 <sup>ns</sup>	-0,027 <sup>ns</sup>	-0,047 <sup>ns</sup>	-0,120 <sup>ns</sup>	0,479 <sup>ns</sup>	1					
PFD	0,273 <sup>ns</sup>	0,415 <sup>ns</sup>	0,356 <sup>ns</sup>	0,300 <sup>ns</sup>	-0,254 <sup>ns</sup>	-0,169 <sup>ns</sup>	0,431 <sup>ns</sup>	0,385 <sup>ns</sup>	-0,174 <sup>ns</sup>	0,156 <sup>ns</sup>	1				
PSD	-0,087 <sup>ns</sup>	-0,092 <sup>ns</sup>	-0,057 <sup>ns</sup>	-0,221 <sup>ns</sup>	0,182 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>	-0,128 <sup>ns</sup>	0,191 <sup>ns</sup>	-0,374 <sup>ns</sup>	-0,011 <sup>ns</sup>	0,093 <sup>ns</sup>	1			
PFA	0,481 <sup>ns</sup>	0,400 <sup>ns</sup>	0,465 <sup>ns</sup>	0,457 <sup>ns</sup>	0,600*	-0,324 <sup>ns</sup>	0,249 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	-0,420 <sup>ns</sup>	-0,278 <sup>ns</sup>	-0,483 <sup>ns</sup>	1		
PSA	0,333 <sup>ns</sup>	0,427 <sup>ns</sup>	0,351 <sup>ns</sup>	0,371 <sup>ns</sup>	-0,203 <sup>ns</sup>	-0,444 <sup>ns</sup>	0,326 <sup>ns</sup>	0,184 <sup>ns</sup>	-0,163 <sup>ns</sup>	-0,225 <sup>ns</sup>	0,241 <sup>ns</sup>	0,236 <sup>ns</sup>	-0,158 <sup>ns</sup>	1	
TOM	-0,509 <sup>ns</sup>	-0,357 <sup>ns</sup>	-0,413 <sup>ns</sup>	-0,038 <sup>ns</sup>	-0,034 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	-0,452 <sup>ns</sup>	-0,334 <sup>ns</sup>	0,151 <sup>ns</sup>	-0,469 <sup>ns</sup>	-0,120 <sup>ns</sup>	-0,528 <sup>ns</sup>	0,153 <sup>ns</sup>	-0,131 <sup>ns</sup>	1

Peso Total do Fruto Fresco (PTF), Diâmetro Radial do Fruto (DRF), Diâmetro Axial do Fruto (DAF), Peso do Endocarpo Seco (PED), Espessura do Endocarpo 1 (EDA), Espessura do Endocarpo 2 (EDB), Peso Fresco do Epicarpo (PFE), Peso Seco do Epicarpo (PFS), Peso Fresco do Mesocarpo ou Polpa (PFP), Peso Seco do Mesocarpo ou Polpa (PSP), Peso do Endocarpo Fresco (PFD), Peso do Endocarpo Seco (PSD), Peso da Amêndoa Fresca (PFA), Peso da Amêndoa Seca (PSA) e Teor de óleo no mesocarpo (TOM). Níveis de significância estatística: ns para não significativo, \* para Significativo ao nível de 5% e \*\* para Significativo ao nível de 1%."

### 6.2.2 Estudo da diversidade genética e análise das características principais

Abordamos a estrutura genética de um grupo diversificado de 12 indivíduos (A1, A2, A4, A7, A8, A17, A21, D32, BGP47-1, BGP50-8, BGP27 e BGP105-1) utilizando 14 variáveis morfoagronômicas. Realizamos análises de agrupamento avançadas com o Programa GENES, aplicando a otimização de Tocher eo método Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Average (UPGMA), ambos baseados na Distância de Mahalanobis oferecendo uma análise detalhada da diversidade genética, considerando a correlação entre variáveis e a variabilidade dos dados, aspecto enfatizado por Resende (2007), Essas técnicas permitiram uma avaliação precisa da dissimilaridade genética e facilitaram a identificação de agrupamentos distintos entre genótipos.

A otimização de Tocher, que segue a premissa de minimizar a distância média intragrupo e maximizar a distância média intergrupo, como destacado por Cruz (2008), evidenciou quatro grupos principais. Tais grupos apresentaram combinação única de indivíduos. Grupo 1 emergiu como o mais diversificado, indicando uma ampla variação genética, enquanto o Grupo 4 consistiu de um único genótipo, este resultado sugere que BGP105-1 possui características morfoagronômicas ou genéticas distintas que o diferenciam significativamente dos outros indivíduos analisados. Isso pode indicar uma linha pura ou um híbrido com características únicas, enfatizando a importância de preservar e estudar este genótipo individualmente para futuras estratégias de melhoramento. Ainda os resultados mostraram que os indivíduos D32e A7 apresentaram a maior dissimilaridade, com uma distância significativa de 2998,94, enquanto os indivíduos A2 e A1 foram os mais similares, evidenciando uma proximidade genética com uma distância de apenas 77,56 e por fim suas distancias medias foram 1031,20. Em resumo, o resultado de Tocher ressalta a heterogeneidade genética presente e confirma a relevância das características morfoagronômicas para a identificação de cruzamentos promissores, conforme indicado por Soares *et al.* (2022).

Já a aplicação do (UPGMA), revelou presença de dois grupos, sendo representado em forma dendrograma (Figura 5), esses agrupamentos demonstrando a complexidade das relações genéticas e a ampla variabilidade genética na população estudada. O primeiro grupo pelo método UPGMA, composto pelos indivíduos A2, A1, A7, A4, e A8, sugere uma proximidade genética que pode ser atribuída à sua origem comum de cruzamentos, possivelmente indicando uma seleção de características agronômicas semelhantes ou complementares. Este agrupamento destaca a importância

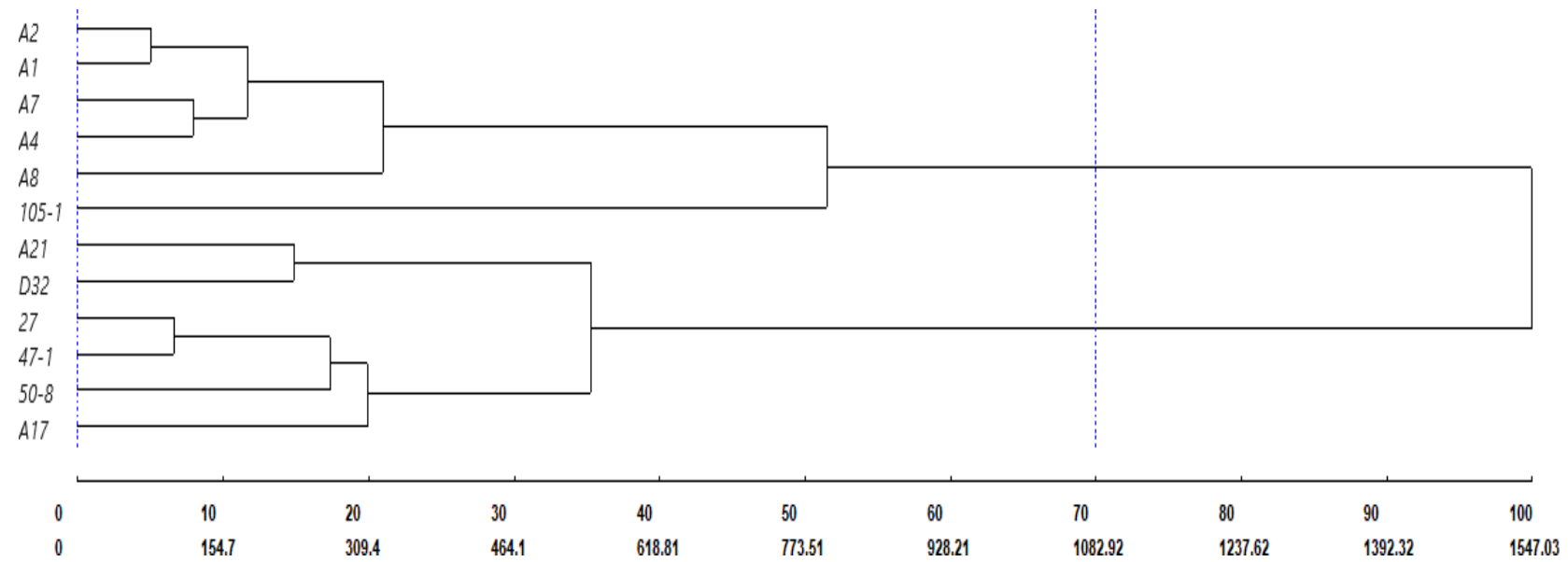
do genitor BGP105(MS) na contribuição para a diversidade genética dos híbridos, o que pode ser crucial para estratégias de melhoramento que visam à otimização de traços específicos dentro desta cultura. O segundo grupo, englobando os indivíduos BGP105-1, BGP50-8, BGP27, BGP47-1, A21, D32, e A14, apresenta uma maior diversidade genética. Este grupo inclui tanto os indivíduos genitores quanto híbridos, refletindo uma ampla base genética.

A análise integrada dos resultados obtidos tanto pela técnica de agrupamento de Tocher quanto pelo método UPGMA, revela uma visão aprofundada da estrutura genética da população de macaúba estudada. O grupo 1 identificado por ambos os métodos de forma idêntica engloba os indivíduos A1, A2, A4, A7 e A8, destacando-se por sua homogeneidade e reforçando sua diversidade genética. Esses indivíduos compartilham uma proximidade genética, provavelmente devido à influência do genitor comum BGP105(MS), evidenciando a relevância deste genitor na contribuição para a variabilidade genética dentro deste grupo.

Tabela 7 - Análises de agrupamento dos indivíduos de macaúba pelo método de Tocher com base na distância generalizada de Mahalanobis

<b>Grupo</b>	<b>Indivíduos Incluídos</b>
<b>1</b>	A1, A2, A4, A7, A8
<b>2</b>	A17, BGP27, BGP47-1, BGP50-8
<b>3</b>	A21, D32
<b>4</b>	BGP105-1

Figura 6-Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 12 indivíduos de macaúba, obtido pelo método Unweighted Pair-Group Method Arithmetic Average (Upgma), utilizando a distância de Mahalanobis.



### 6.3. Biometria dos frutos

Os dados apresentados revelam variações significativas nas características físicas dos frutos entre os diferentes indivíduos (ID) (Tabela 8). O PTF apresentou uma variação notável entre as amostras, com a planta A4 registrando o maior peso (49,28 g) e a planta 47-1 o menor (17,06 g), podendo influenciar atributos químicos, como o teor de óleo.

A4 destaca-se com valores elevados em quase todas as variáveis físicas, possuindo a maior média, do IMP (34,66), a maior média em,DRF (43,49), e DAF (43,03), ter esses elevados diâmetros, ressoam como indicativos importante e positivos para a seleção de variedades com fins comerciais, onde o tamanho do fruto é um fator crucial.

Além disso, o indivíduo apresentou alto valor PFP (28,11 g), sabendo que os frutos são estruturas vivas compostas de células metabolicamente ativas, e enquanto ligado à planta recebem água, nutrientes, sais minerais, hormônios e outros compostos (Awad, 1993), esse valor pode indicar uma maior quantidade de água, mas também uma maior concentração de nutrientes e/ou compostos orgânicos nesta parte do fruto. Com todos esses atributos favoráveis, A4 pode ser um candidato superior para produção, possuindo

Interessantemente, a espessura do endocarpo (EDA e EDB) mostrou variações significativas entre as plantas, sobre a relação entre a morfologia do fruto e sua eficiência de processamento, conforme indicado pelo Índice de Massa Processável (IMP). Notavelmente, a planta A8, com espessuras de endocarpo de 5,99 mm (EDA) e 5,18 mm (EDB), sugere uma relação entre uma maior proteção da que encontra respaldo no estudo de Farias *et al.* (2010), que destacou a função do endocarpo na defesa contra microrganismos e a ação de lipases. Porém, possui um IMP maior (30,42).

Por outro lado, a planta A2, que apresenta as menores espessuras de endocarpo (EDA de 5,32 mm e EDB de 4,76 mm) e o menor IMP (26,44), sugere uma menor eficiência de processamento. Isso desafia a ideia simplista de que uma espessura maior do endocarpo resultaria em um menor IMP, devido à presença de mais material não processável. Tal paradoxo pode ser esclarecido ao considerarmos o estudo de Montoya *et al.* (2016), que ilumina a importância estudo do endocarpo durante os estágios críticos de crescimento do fruto, evidencia como essa estrutura contribui não apenas para a proteção, mas também para o desenvolvimento do fruto, influenciando diretamente características que afetam o IMP.

Tabela 8 - Tabela de componentes das variáveis do fruto de macaúba com médias por indivíduo e diferenças significativas

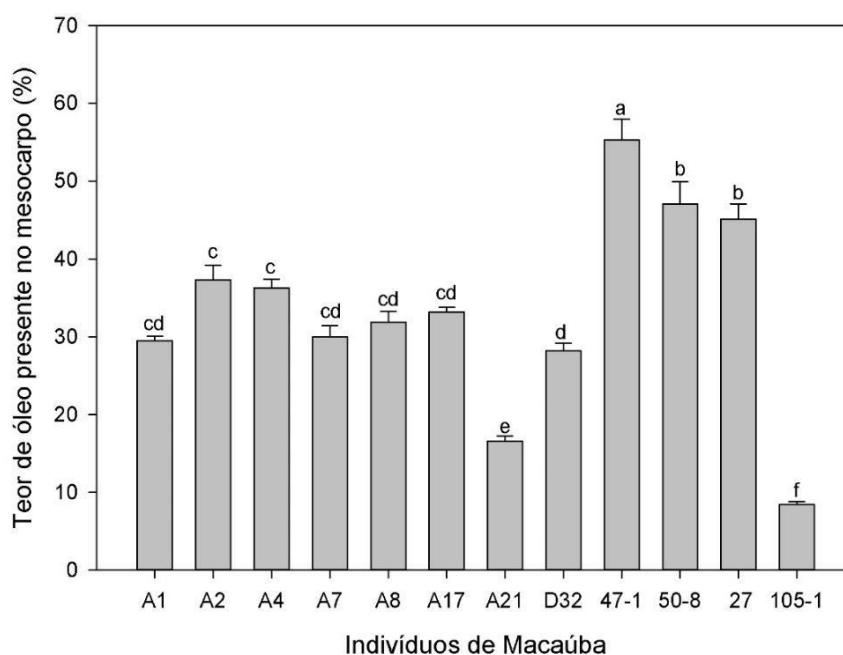
ID	Variáveis													
	PTF	IMP	DRF	DAF	EDA	EDB	PFE	PFS	PFPP	PSP	PFDD	PSD	PFA	PSA
A1	36,74 bc	29,75 cde	39,11 cd	41,52 ab	5,62 ab	4,68 abc	9,97 bc	4,54 cde	20,71 bcd	13,07 b	9,28 bc	6,10 c	1,96 bcd	1,16 cd
A2	28,84 d	26,44 f	35,96 efg	37,52 cde	5,32 abc	4,76 ab	9,32 bc	3,78 ef	16,06 ef	10,76 bc	8,09 cd	5,03 cd	1,19 d	0,95 d
A4	49,28 a	34,66 a	43,49 a	43,03 a	4,74 bcde	4,44 abcd	111,87 ab	5,14 bcd	28,11 a	17,51 a	11,80 a	8,37 ab	2,84 ab	2,27 a
A7	40,54 b	34,14 ab	41,32 abc	41,28 abc	4,12 de	4,41 abcd	110,33 ab	4,34 de	22,56 bc	13,11 b	9,21 bc	6,05 c	2,56 abc	2,00 ab
A8	38,67 b	30,42 cd	40,78 bc	40,67 abc	6,00 a	5,18 a	13,31 a	4,24 de	18,54 de	7,08 def	11,31 a	7,72 b	2,06 bcd	1,63 bc
A17	42,28 b	34,11 ab	41,77 ab	43,56 a	4,04 de	3,84 cd	111,88 ab	6,96 a	14,01 f	13,19 b	10,55 ab	9,41 a	3,27 a	2,54 a
A21	31,28 cd	29,95 def	37,42 def	35,59 e	5,01 abcd	42,33 bcd	74,23 cd	5,39 bc	20,01 cd	12,18 b	8,26 cd	7,52 b	1,19 d	0,98 d
D32	27,65 d	28,25 def	37,06 def	38,97 bcde	4,91 bcde	4,41 abcd	8,80 bcd	6,00 ab	14,07 f	7,33 de	8,50 cd	7,70 b	1,64 cd	1,35 cd
47-1	17,06 e	27,42 ef	35,09 fg	39,16 bcde	4,74 bcde	38,33 d	5,98 d	3,65 ef	7,54 g	4,91 ef	4,31 g	3,82 d	1,10 d	0,91 d
50-8	29,68 d	29,38 cde	37,53 de	38,46 bcde	4,81 bcde	40,73 bcd	8,53 bcd	4,63 cde	14,73 f	8,41 cd	6,15 ef	5,07 cd	1,72 cd	1,23 cd
27	19,05 e	27,42 ef	35,01 g	36,62 de	3,92 e	37,23 d	5,76 d	3,12 f	8,22 g	4,86 f	5,19 fg	4,44 d	1,67 cd	1,38 cd
105-1	39,44 b	31,65 bc	40,43 bc	40,00 abcd	4,74 bcde	43,93 abcd	80,28 bcd	3,77 ef	23,33 b	11,15 b	7,27 de	6,01 c	1,96 bcd	1,53 bc

Índice de massa processável (IMP); Peso Total do Fruto Fresco (PTF); Diâmetro Radial do Fruto (DRF); Diâmetro Axial do Fruto (DAF); Espessura do Endocarpo 1 (EDA); Espessura do Endocarpo 2 (EDB); Peso Fresco do Epicarpo (PFE); Peso Seco do Epicarpo (PFS); Peso Fresco Mesocarpo/Polpa (PFPP); Peso Seco do Mesocarpo/Polpa (PSP); Peso do Endocarpo Fresco (PFDD); Peso do Endocarpo Seco (PSD); Peso da Amêndoa Fresca (PFA); Peso da Amêndoa Seca (PSA). \*Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5% de significância)

#### 6.4 Teor de óleo no mesocarpo dos frutos

Em frutos de macaúba, o óleo é encontrado principalmente no mesocarpo e na amêndoa, em relação ao mesocarpo, esse pode atingir até 70% de óleo em base seca (Wandeck;Justo, 1988). A análise do teor de óleo no mesocarpo dos indivíduos de macaúba permite compreensão do potencial destes componentes do fruto para produção. Os resultados evidenciaram a variação significativa nos teores de óleo entre os diferentes indivíduos amostrados, (Figura 7).

Figura 7 -Gráfico de barras referente ao teor de óleo nos indivíduos de macaúba avaliados



\*Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5% de significância).

O destaque em teor de óleo no mesocarpo é do genitor BGP 47-1 (55,31%), que exibe um TOM significativamente mais elevado em comparação com os demais. Em contraste, o genitor BGP 105-1 apresenta o menor teor (8,44%), evidenciando a extensa variação genética na espécie. Os híbridos provenientes da combinação de BGP 105-1(MS) e BGP 27(MG) (A1, A4, A7, A17) mostram uma consistência significativa, apresentam teores de óleo variando de 29,5% a 33,20%. Isso indica uma certa previsibilidade na herança do teor de óleo desses genitores específicos. No entanto, a

presença de variação dentro desses indivíduos sugere a influência de outros fatores genéticos ou ambientais.

Os híbridos provenientes da mesma Mãe BGP 105-1, porém, com pai não identificado (A2, A8, A21) mostram uma ampla variação de TOM, de 16,59% a 37,32% esta variação aponta para o papel potencialmente significativo dos genitores desconhecidos na determinação do teor de óleo, sublinhando a importância de uma caracterização genética mais completa. Já o híbrido D32, proveniente do BGP47-1 como genitor materno e não identificado genitor paterno, apresenta um teor de óleo de 28,18%, sugerindo uma produtividade de óleo inferior em comparação com a maioria dos indivíduos dos outros dois cruzamentos. A discrepância entre o alto teor de óleo do indivíduo BGP47-1 (55,31%) e o menor teor encontrado em seu descendente D32 ilustra a complexidade da herança genética para o teor de óleo em plantas. Apesar da alta produtividade de óleo do progenitor, fatores genéticos complexos e interações entre os pais podem influenciar a herança dessa característica, não garantindo automaticamente altos teores de óleo na descendência.

Vale ressaltar que o indivíduo D32, é o único que possui como genitor materno o BGP 47 (SP), este contexto sugere que a contribuição genética de BGP 47, é fundamental para as características destacadas de D32. A ausência de identificação do outro genitor de D32 abre oportunidades para investigar a influência de genes não identificados ou a possibilidade de variações genéticas espontâneas que contribuíram para as características excepcionais de D32.

Destaca-se como um candidato promissor para o melhoramento genético devido à sua alta produtividade de óleo, o indivíduo BGP 50-8, com um teor de óleo de 47,07%. No entanto, o potencial de melhoramento desse indivíduo não foi explorado na geração F1, pois não houve descendentes que produziram frutos para análise na safra de 2022/2023. Essa ausência sugere possíveis limitações na viabilidade de cruzamento ou na produção de frutos. Essa situação ressalta a importância de adotar estratégias de melhoramento genético que levem em conta não apenas os fatores genéticos, mas também as condições ambientais e outros obstáculos agrônômicos, para maximizar o teor de óleo nas plantas.

Os resultados apresentados, em relação ao teor de óleo no mesocarpo dos frutos de macaúba, refletem medições diretas sem a inclusão de um período de armazenagem de 10 dias. Este detalhe é crucial, pois a armazenagem pode contribuir para um acréscimo significativo no teor de óleo, realçando ainda mais o potencial produtivo

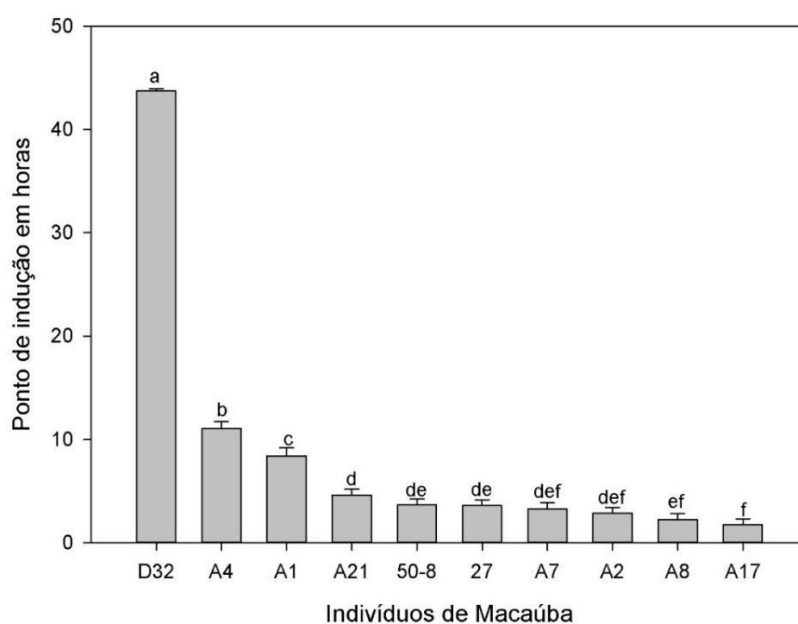
desses componentes. Essa observação sublinha a importância de considerar a fase de armazenagem ao avaliar o teor de óleo, para uma estimativa mais precisa do potencial de produção de óleo da macaúba.

### 6.5 Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo

A qualidade do óleo vegetal, crucial para sua viabilidade comercial, é fortemente influenciada pela composição de ácidos graxos, sendo a estabilidade oxidativa um parâmetro chave. Ácidos graxos saturados melhoram significativamente a estabilidade oxidativa, tornando o óleo mais apto para aplicações industriais, conforme destacado por Alfaro-Solís *et al.* (2020) e Souza *et al.* (2016). Por outro lado, ácidos graxos poli-insaturados tendem a diminuir essa estabilidade, como observado no óleo de soja por Hildebrand & Collins (1998).

Com base nos resultados (Figura 8), observamos que, as amostras de macaúba analisadas, a D32 se destacou com o maior valor médio de Indução de Oxidação (IO), atingindo 43,72 horas, o que supera amplamente o mínimo de 13 horas exigido pela Resolução ANP nº 920/2023 para biodiesel no Brasil. Isso indica sua excelente adequação ao mercado de biodiesel. Em contraste, A17 registrou o menor IO, com apenas 1,755 horas, enquanto A4, IO de 11,06 horas, aproxima-se do limite, sugerindo potencial após a adição de antioxidantes, conforme a obrigatoriedade imposta pela Resolução ANP nº 798/2019.

Figura 8- Gráfico referente a variação do valor de indução de oxidação (io) em amostras de macaúba.



\*Médias seguidas pelas mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5% de significância).

A análise evidencia a necessidade de seleção criteriosa das matérias-primas para otimizar a estabilidade oxidativa do óleo de macaúba. As demais amostras, possuem IO significativamente abaixo do mínimo exigido, ressaltam a importância de seleção de indivíduos superiores para essa característica em programas futuro de melhoramento.

### 6.6 Ácidos graxos do mesocarpo

A análise de perfil de ácidos graxos dos óleos presentes nos indivíduos de macaúba estudados (Tabela 9), permitiu a identificação dos ácidos oleicos (C18:1), palmítico (C 16:0) palmitoleico (C16:1), linoleico (C18:3), esteárico (C18:0) e Cis-11 Eicosanoico (C20:1). A maior parte do perfil foi composta de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI - C16:1, C18:1 e C20:1), seguida pelos ácidos graxos saturados (AGS - C16:0, C18:0) e, em menor concentração, os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI - C18:2).

Tabela 9 - Composição de ácidos graxos em diferentes indivíduos de Macaúba, obtidos da hibridização de acessos do BAG-Macaúba

ÁCIDOS GRAXOS						
ID	C18:1 (Oleico)	C16:0 (Palmitico)	C18:2 (Linoleico)	C18:0 (Estearico)	C16:1 (Palmitoleico)	C20:1 (Cis-11 Eicosanoico)
A1	55,16%	21,03%	16,83%	3,75%	1,95%	1,01%
A2	54,59%	20,69%	16,47%	3,85%	3,10%	1,25%
A4	51,30%	20,86%	20,78%	3,26%	2,47%	1,33%
A7	50,64%	22,96%	16,63%	6,82%	1,85%	1,09%
A8	57,63%	18,05%	16,45%	5,48%	1,37%	1,01%
A17	55,28%	20,89%	17,16%	4,01%	2,09%	0,57%
A21	52,96%	20,00%	19,26%	4,23%	1,73%	1,83%
D32	74,17%	15,76%	3,09%	3,10%	3,61%	0,26%
50-8	75,75%	9,14%	10,17%	3,58%	0,91%	0,45%
27	47,89%	23,79%	18,76%	2,49%	5,84%	1,23%
A1	55,16%	21,03%	16,83%	3,75%	1,95%	1,01%

Com base nos valores obtidos por indivíduos, destaca-se a elevada concentração de ácido oleico (C18:1) nos indivíduos 50-8 e D32, com valores de 75,75% e 74,17%, respectivamente, que superam significativamente a média encontrada em outros indivíduos, que gira em torno de 50% a 57%. Tal concentração é comparável à do azeite de oliva, conhecido por seu alto teor de ácido oleico, que ultrapassa 70% (Souza, 2015).

O ácido oleico, um ácido graxo monoinsaturado, é conhecido por sua contribuição à estabilidade oxidativa dos óleos, como observado no Gráfico 1, uma característica vantajosa tanto para consumo humano quanto para aplicações industriais, como na fabricação de biodiesel, onde a resistência à oxidação é fundamental (Mota, 2011).

A análise também revelou distinção nas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoleico (C18:2), com o indivíduo A4 apresentando uma maior proporção de ácido linoleico (20,78%). Apesar dos ácidos graxos poli-insaturados serem essenciais na dieta, sua presença em altas concentrações em óleos vegetais pode afetar negativamente a estabilidade oxidativa, especialmente sob condições propícias à oxidação, como a exposição à luz e altas temperaturas (Gunstone & Norris, 1983). Isso tem implicações diretas na produção de biodiesel, onde a estabilidade do combustível é crucial. O óleo de macaúba, com sua composição específica, pode oferecer vantagens em relação ao óleo de soja, tradicionalmente utilizado na produção de biodiesel, mas que contém maior proporção de ácido linolênico, um precursor menos estável para o biodiesel (Quinteiro & Vianni, 1995).

No que tange aos ácidos graxos saturados, como o palmítico (C16:0) e o esteárico (C18:0), observou-se variação entre os indivíduos. Estes ácidos influenciam propriedades físicas do biodiesel como a viscosidade e o ponto de fusão, essenciais para a qualidade do combustível. Por exemplo, o indivíduo A7 apresentou maior proporção de ácido esteárico (6,82%), o que pode afetar a solidificação do óleo em baixas temperaturas, limitando sua aplicabilidade em climas frios.

Os resultados dessa análise enfatizam o potencial do óleo de macaúba, destacando-se por sua composição favorável de ácidos graxos, tanto para o consumo humano quanto para a produção de biodiesel. A estabilidade oxidativa elevada encontrada em alguns dos indivíduos analisados, juntamente com um perfil de ácidos graxos que favorece a qualidade do óleo, posicionando-o como um recurso valioso para futuras aplicações industriais e alimentares.

## **7 CONCLUSÕES**

Este estudo sublinha a significância dos genitores BGP 47-1 e 105-1 na compreensão da diversidade e complexidade genética da macaúba, essenciais para seu melhoramento genético e a produção de biodiesel. O BGP 47-1 se destaca com um teor

de óleo no mesocarpo de 55,31%, evidenciando sua importância na seleção de características superiores. Embora o BGP 105-1 apresente um teor de óleo baixo, sua contribuição para a variabilidade genética ressalta a complexidade da herança genética. A diversidade genética foi confirmada como crucial para melhorar a produtividade, as características dos frutos e a qualidade do óleo.

Os indivíduos A4 e D32 demonstram potencial notável, com o A4 se destacando por suas características morfoagronômicas e o D32 por seu teor de ácido oleico de 74,17% e estabilidade oxidativa de 43,72 horas, superando os padrões para biodiesel. Estes achados indicam a viabilidade de selecionar geneticamente para características desejáveis. Além de suas propriedades químicas, o D32, juntamente com o indivíduo A7, apresentou a maior dissimilaridade genética em relação aos outros, isso indica que o D32 possui uma composição genética única, que pode contribuir significativamente para a diversidade genética dos programas de melhoramento

A alta herdabilidade observada nos componentes do fruto sugere que as futuras gerações podem herdar e potencializar essas características, com a análise revelando uma correlação entre atributos agronômicos que permite a otimização de traços sinérgicos.

A geração F1 de macaúba, explorando cruzamentos entre diferentes acessos destaca a importância da diversidade genética para otimizar produtividade e qualidade do óleo. A4, D32, e BGP 47-1 emergem como figuras centrais para o avanço da macaúba como fonte sustentável de biodiesel, com o uso criterioso de BGP 105-1 nos cruzamentos enfatizando a seleção estratégica em programas de melhoramento. Identificar combinações de cruzamentos eficazes é essencial para maximizar produtividade e qualidade do óleo, pavimentando o caminho para o desenvolvimento sustentável da macaúba.

## 8 REFERÊNCIAS

ABREU, A. G., PRIOLLI, R. H., AZEVEDO-FILHO, J. A., NUCCI, S. M., ZUCCHI, M. I., COELHO, R. M., et al. (2012). **The genetic structure and mating system of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae)**. *Genetics and Molecular Biology*, 35(1), 119–121. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572012005000002>.

ALFARO-SOLÍS, J. D. 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.*, v. 94, p. 1913-1927, 2020.

Alves, J. C. S.; Peixoto, J. R.; Vieira, J. V.; Boiteux, L. S.; Scapim, C. A. (2006). Herdabilidade e correlações genóticas entre caracteres de folhagem e sistema radicular em famílias de cenoura, cultivar Brasília. *Horticultura Brasileira*, 24(3), 308-313.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP Nº 920, de 4 de abril de 2023. Diário Oficial da União, 05-04-2023.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Audiência da ANP debate revisão das regras para controle da qualidade de combustíveis importados. Disponível em: [https://www.gov.br/anp/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/audiencia-da-anp-debate-revisao-das-regras-para-controle-da-qualidade-de-combustiveis-importados](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/audiencia-da-anp-debate-revisao-das-regras-para-controle-da-qualidade-de-combustiveis-importados). Acesso em: [data de acesso].

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2023/anuario-2023.pdf>. Acesso em: [data de acesso].

ANDRADE, Patricia Cardoso et al. Primeiro ano de produção de híbridos interespecíficos de palma de óleo em área de ocorrência de amarelecimento fatal. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 15., 2011, Belém. Anais... Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

ARAÚJO, M. R. G., DE MELO JÚNIOR, A. F., MENEZES, E. V., et al. (2017). **Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): Analysis in an overlapping generation**. *Biochem Syst Ecol*, 71, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.02.005>

AWAD, M. Fisiologia pós-colheita de frutos. São Paulo: Ed. Nobel, 1993. 120p.

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.

BARROS, Talita Delgrossi; JARDINE, José Gilberto. Transesterificação - Biodiesel. Embrapa, 08/12/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: [data de acesso].

BERNARDO, R. (2002). **Breeding for quantitative traits in plant**. Woodbury: **Stemma Press**.

BERTON, L. H. C. Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*). 2013. Tese (Doutorado) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2013.

BORÉM, A., & MIRANDA, G. V. (2009). **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: UFV.

BREWBAKER, J. L. (1969). **Genética na agricultura**. São Paulo: Polígono.

Brasil. Lei Nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19478.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm). Acesso em: [data de acesso].

Brasil. Lei nº 19.485, de 13 de Janeiro de 2011. Institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas - Pró-Macaúba.

Brasil. Lei Nº 11.097, de 13 de Janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm). Acesso em: [data de acesso].

BRIANÉZI, Daniel. Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do campus-sede da Universidade Federal de Viçosa. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

Brito, A. C. (2013). **Biologia reprodutiva de macaúba: floração, polinizadores, frutificação e conservação de pólen**. Tese de Doutorado (Programa de Genética) Universidade Federal de Viçosa.

BYERLEE, D., FALCON, W. P., & NAYLOR, R. L. (2017). **The Tropical Oil Crop Revolution: Food, Feed, Fuel, and Forests**. Oxford University Press. DOI:10.1093/acprof:oso/9780190222987.001.0001.

CAIERÃO, E. et al. **Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos**. *Ciência Rural*, v. 31, n. 2, p. 231-236, 2001.

CARDOSO, A. N. et al. Extrativismo da macaúba na região do cariri cearense: comercialização e oportunidades. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, pp 25261-25279, 2020.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004.

CAVALCANTI, E. H.; ZIMMER, A. R.; BENTO, F. M.; FERRÃO, M. F. Chemical and microbial storage stability studies and shelf life determinations of commercial Brazilian biodiesels stored in carbon steel containers in subtropical conditions. *Fuel*, v. 236, p. 993- 1007, 2019.

CICONINI, G. (2012). **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco – UCDB – Campus Campo Grande, MT.

COELHO, R. M., DA COSTA, C. F., DE AZEVEDO FILHO, J. A., et al. (2019). **Non-biotic factors determining plasticity of the prospective oil-rich macauba palm (*Acrocomia aculeata*)**. *Agrofor Syst*, 93, 771–782. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0173-7>

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA – CNPE. Resolução Nº 16, de 29 de outubro de 2018. Disponível em: [https://antigo.mme.gov.br/documents/36074/265770/Resolucao\\_16\\_CNPE\\_29-10-18.pdf/03661cf7-007d-eb99-10b4-61ee59c30941](https://antigo.mme.gov.br/documents/36074/265770/Resolucao_16_CNPE_29-10-18.pdf/03661cf7-007d-eb99-10b4-61ee59c30941). Acesso em: [data de acesso].

COSTA, V.L. DOS SANTOS; GOMES, J.M.A.; OLIVEIRA, M.C.P.; KORNDÖRFER, C.L. **Quantificação do estoque de carbono da Copernicia prunifera (Mill.) H.E. Moore em áreas distintas**. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, 2018. DOI: 10.5327/Z2176-947820180237.

CRUZ, C.D. Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2004.

CTBE, Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol. 2017. Workshop Estratégico CTBE. Available from <http://pages.cnpem.br/wectbe/programacao/>(last consult: 2017/20/05).

DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. **Ecophysiology of coffee growth and production**. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 19, p. 485-510, 2007

DE LIMA, N. E., CARVALHO, A. A., MEEROW, A. W., & MANFRIN, M. H. (2018). **A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold**. *Organisms Diversity & Evolution*, 18, 151-161.

DELBONI, J. S., SILVA, J. C., CRUZ, C. D., & SILVA, C. H. O. (1989). **Análise de cruzamentos dialélicos entre variedades de milho braquítico-2, usando o método de Gardner e Eberhart.** Revista Ceres, 36(206), 365-372.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de Cabrela canjerana em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, 1998, p. 55-66.

EMBRAPA. (2019). **Caracterização de populações naturais de macaúba e avaliação do potencial produtivo.** Retrieved from: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214063/1Doc-354-biblioteca.pdf>.

European Committee for Standardization. EN 14112: Fatty acid methyl esters (FAME): Determination of oxidation stability (accelerated oxidation test), 2003.

European Committee for Standardization. EN 15751: Automotive Fuels, Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Fuel and blends with Diesel Fuel – Determination of Oxidation Stability by Accelerated Oxidation Method.

EVARISTO, A., GROSSI, J., CARNEIRO, A., PIMENTEL, L., MOTOIKE, S., & KUKI, K. (2016). **Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues.** *Biomass & Bioenergy*, 85, 18-24. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2015.11.024>.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics. Longman Group Limited.

FARIAS, TEDDY MARQUES. Biometria e processamento dos frutos da macaúba (*Acrocomia* sp) para a produção de óleos. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FAO. **FAOSTAT. Disponível** em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QD>. Acesso em: Maio. 2023

FAO, The state of food insecurity in the world 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Home, Disponível em <Disponível em <http://www.fao.org/publications/sofi/en/> > Acesso jul, 2023 > <http://www.fao.org/publications/sofi/en/>

FAVARO, S. P. et al. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 60, artigo e160373, 2017

FERREIRA, MW, DIAS, GC, SILVA, TR, KIEFER, C., SILVEIRA, US, & MARQUES, RR (2019). **Níveis de farelo de macaúba na dieta de frango de corte de pescoço pelado.** *Ciência Animal Brasileira*, 20.

FILHO, D.B.F.; JÚNIOR, J.A.S. **Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r).** Revista Política Hoje, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: [http://bibliotecadigital.tse.jus.br/xmlui/bitstream/handle/bdtse/2766/2009\\_figueiredo\\_desvendando\\_misterios\\_coeficiente.pdf?sequence=1](http://bibliotecadigital.tse.jus.br/xmlui/bitstream/handle/bdtse/2766/2009_figueiredo_desvendando_misterios_coeficiente.pdf?sequence=1). Acesso em: 20 nov. 2023

GARRONI, N., ANDRADE, R., HADDAD, F., TAVARES, T., MAGALHÃES, K., & NUNES, C. (2021). **Caracterização físico-química e tecnológica de bolos tipo cupcake incorporados com torta de amêndoa de jerivá e de macaúba.** *Brazilian Journal of Food Research*, 12(1), 1-13.

GATSUK, L. E.; SMIRNOVA, O. V.; VORONTZOVA, L. B.; ZHUKOVA, L. A. Age states of plants of various growth forms: a review. *Journal of Ecology*, v. 68, p. 675-696, 1980.

GONÇALVES SOARES, I.F. et al. **Caracterização morfoagronômica, bromatológica e análise da divergência genética entre acessos de tomate.** *Revista Ifes Ciência*, v. 7, n. 3, p. 01-12, 2022. <https://doi.org/10.36524/ric.v7i3.1595>.

GUNSTONE, F. D.; NORRIS, F. A. *Lipids in food chemistry, biochemistry and technology.* Oxford: Pergamon Press, p,170,1983.

HENDERSON, A., GALEANO, G., & BERNAL, R. (1995). **A field guide to the palms of the Americas.** Princeton, USA: Princeton University.

HENDERSON, A., GALEANO, G., & BERNAL, R. (2019). **Field guide to the palms of the Americas** (Vol. 5390). Princeton University Press.

HIANE, P. A. et al. 2005. Óleo da polpa e amêndoa de bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (jacq.) lodd. Caracterização e composição em ácidos graxos. *Brazilian Journal of Food Technology* 8(3):256-259.

HILDEBRAND, D.; COLLINS, G. Manipulation of linolenat and other fatty acids in soybean oil. *Soybean. Research Documents Online*, 1998. Disponível em: <http://www.ag.uiuc.edu/~stratsoy/research>. Acesso em: 18 out 2023.

JACQUIN, N.J. von. *Selectarum Stirpium Americanarum Historia*. t. 169, p. 278, 1763. Disponível em: <http://www.mobot.mobot.org/cgi-bin/search>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LANES, É. C., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N., RESENDE, M. D., & CAIXETA, E. T. (2016). **Mating system and genetic composition of the macaw palm (*Acrocomia aculeata*): implications for breeding and genetic conservation programs.** *Journal of Heredity*, 107(6), 527-536.

LANES, É. C., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N., NICK, C., & FREITAS, R. D. (2015). **Molecular characterization and population structure of the macaw palm, *Acrocomia aculeata* (Arecaceae), ex situ germplasm collection using microsatellites markers.** *Journal of Heredity*, 106(1), 102-112. <https://doi.org/10.1093/jhered/esw038>

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

LORENZI, G.M.A.C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. – Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável.** 2006. 156 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006

LÚCIO, D.D.M. et al. **Biometry of fruits and seeds of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in natural populations.** Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo, v. 65, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.17707/AGRICULTFOREST.65.1.11>.

MANFIO, C. E., MOTOIKE, S. Y., DE RESENDE, M. D. V., DOS SANTOS, C. E. M., & SATO, A. Y. (2012). **Avaliação de progênies de macaúba na fase juvenil e estimativas de parâmetros genéticos e diversidade genética.** *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(69), 63-63. DOI: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.63>.

MANFIO, C. E., MOTOIKE, S. Y., SANTOS, C. E. M. D., PIMENTEL, L. D., QUEIROZ, V. D., & SATO, A. Y. (2011). **Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba.** *Ciência Rural*, 41, 70-76. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000100012>.

MATSIMBE, S., MOTOIKE, S., PINTO, F., LEITE, H., & MARCATTI, G. (2015). **Prediction of oil content in the mesocarp of fruit from the macauba palm using spectrometry.** *Revista Ciencia Agronomica*, 46, 21-28. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100003>.

MAZZOTTINI-DOS-SANTOS, H. C., RIBEIRO, L. M., MERCADANTE-SIMÕES, M. O., & SANT'ANNA-SANTOS, B. F. (2015). **Floral structure in *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): evolutionary and ecological aspects.** *Plant Syst Evol*, 301(5), 1425–1440. <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1167-9>

MELO, P. G. (2012). **Produção e Caracterização de biodiesel obtido a partir da oleaginosa Macaúba (*Acrocomia aculeata*).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MENGISTU, F., MOTOIKE, S., & CRUZ, C. (2016). **MOLECULAR Characterization and Genetic Diversity of the Macaw Palm Ex Situ Germplasm Collection Revealed by Microsatellite Markers.** *Diversity*, 8, 20. <https://doi.org/10.3390/D8040020>.

MEIJAARD, E., BROOKS, TM, CARLSON, KM, SLADE, EM, GARCIA-ULLOA, J., GAVEAU, DL,.....& SHEIL, D. (2020). **The environmental impacts of palm oil in context.** *Nature plants*, 6(12), 1418-1426. DOI:10.1038/s41477-020-00813-w, 6(12), 1418-1426.

MICHELIN, S., PENHA, F. M., SYCHOSKI, M. M., SCHERER, R. P., TREICHEL, H., VALÉRIO, A., ... & OLIVEIRA, J. V. (2015). **Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil.** *Renewable Energy*, 76, 388-393.

Ministério de Minas e Energia. "Ministro Alexandre Silveira comemora parceria para biorrefino da macaúba e defende recompra de refinaria na Bahia". Governo do Brasil, [data de publicação não especificada]. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ministro-alexandre-silveira-comemora-parceria-para-biorrefino-da-macauba-e-defende-recompra-de-refinaria-na-bahia>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MONTOYA, S., MOTOIKE, S., KUKI, K., & COUTO, A. (2016). **Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia***

**aculeata), an alternative bioenergy crop.** *Planta*, 244, 927 - 938.  
<https://doi.org/10.1007/s00425-016-2558-7>

MONTOYA, S., MOTOIKE, S., KUKI, K.(2021). **Viability of a macauba palm–*Brachiaria* grass intercropping system as an alternative to agroforestry production.** *Agron. Sustain. Dev.* **41**, 55 .<https://doi.org/10.1007/s13593-021-00701-3>

.MOTOIKE, S. Y., LOPES, F. A., OLIVEIRA, M. A. R., CARVALHO, M., SÁ JÚNIOR, A. Q., (2007).**Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero *Acrocomia*.** INP I:014070005335

MOTA, Clenilso Sehnen et al. **Exploração sustentável da macaúba para 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.; CARVALHO, M.; PIMENTEL, L. D.; KUTI, 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. 61p.

NE10. "Com visita de Lula aos Emirados Árabes, refinaria privada anuncia investimento de R\$ 12 bilhões na Bahia". *Jornal do Comercio*, 04 abr. 2023. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/economia/2023/04/15443063-com-visita-de-lula-aos-emirados-arabes-refinaria-privada-anuncia-investimento-de-rs-12-bilhoes-na-bahia.html>. Acesso em: 15 dez. 2023.

NEVES, Geís Ferreira. **Caracterização de populações naturais de licuri, *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. (Arecaceae):** pré-melhoramento e conservação da espécie. 2021. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28248>. Acesso em: 12 fev. 2024.

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

OECD; FAO. (2017). **OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027.** Disponível em: <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2018-2027/es/>. Acessado em: . Acesso em maio 2023

OLIVEIRA, E. P. et al. Perfil da qualidade do biodiesel, diesel B S10 e B S500 em uma distribuidora na região Norte do Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 12, pág. 110135-110152, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/40440/pdf>. Acesso em: 02 de dezembro de 2022.

OLIVEIRA, D. M. DE . et al.. **Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica.** *Química Nova*, v. 36, n. 5, p. 734–737, 2013.

Oliveira, R. S. de; Silva, E. A. da; Rodrigues, P. R. P.; Souza, S. N. M. **Avaliação da ação antioxidante de produtos naturais no biodiesel B100 (Glycine max).** *Engevista*, v. 16, n. 3, p. 410-419, setembro 2014.

OLIVEIRA, E. P.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, E. L.; LIMA, E. Q.; SOUZA, M. S.; MACEDO, F. P.; CARMO, G. B. **Impactos da regulamentação da qualidade do Biodiesel para os agentes regulados na Região Norte.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.12, ISSN: 2525-8761 p. 121730-121743 dec. 2021.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

Portal Macaúba. Disponível em: <https://www.portalmacauba.com.br/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

QUINTEIRO, L. M. C.; VIANNI, R. Características e estabilidade de óleos de soja. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 15, n. 1, p. 29-36, 1995.

RAO, C.R. **Advanced statistical methods in biometric research.** New York: John Wiley & Sons, 1952. 390 p.

Rezende, E.H., Auer, C.G., Duin, I.M., Coelho, T.A.V., Miranda, I.D.S., Higa, A.R., Silva, L.D., & Santos, A.F. dos. (2021). **Potencial de seleção em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, para resistência à mancha foliar e ao cancro.** *Ciência Florestal*, 31(4), 1930-1948. <https://doi.org/10.5902/1980509856935>.

RESENDE, M.D.V. de; DUARTE, J.B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/1867>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SANTINATO, F. et al. **Custo operacional da colheita mecanizada do café primeira safra.** *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, n. 9, 2019.

SARI, Y. W. (2015). **Biomass and its potential for protein and amino acids: valorizing agricultural by-products.** PhD thesis, Wageningen University.

SCARIOT, A. O., LLERAS, E., & HAY, J. D. (1991) **Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in central Brazil.** *Biotropica*, 23(1), 12-22.

SCHIELD, M. **Correlation, determination and causality in introductory statistics.** American Statistical Association, Section on Statistical Education, 1995.

SHIMAKURA, S.E.; RIBEIRO JUNIOR, P.J. Estatística. 2006. Disponível em: [www.est.ufpr.br/~paulojus/CE003/ce003.html](http://www.est.ufpr.br/~paulojus/CE003/ce003.html). Acesso em: 10 jan. 2024.

SILVA, Thaís Cristina, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2019. **Cruzamentos dirigidos e caracterização de híbridos F1 entre plantas de macaúbas.**

SILVA, Valéria de Fátima. **Espécies florestais no ambiente urbano.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

SILVA, P. R. Uso de banda dendrométrica na definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do Rio Cuieiras. *Acta Amazônica*, v. 33, n. 1, 2003, p. 67-84.

SIMIQUELI, G., RESENDE, M., MOTOIKE, S., & HENRIQUES, E. (2018). **Inbreeding depression as a cause of fruit abortion in structured populations of macaw palm ( *Acrocomia aculeata* )**: Implications for breeding programs. *Industrial Crops and Products*, 112, 652-659. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.068>.

SOARES, K. P.; LONGHI, S. J.; WITECK NETO, L.; ASSIS, L. C. Palmeiras (Arecaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Rodriguésia*, v. 65, n. 1, p. 113-139, 2014. Disponível em: <http://rodriguesia.jbrj.gov.br>.

SOBREIRA, H. F., DE PAULA LANA, R., MANCIO, A. B., DA FONSECA, D. M., MOTOIKE, S. Y., DA SILVA, J. C. P. M., & GUIMARÃES, G. (2012). **Casca e coco de macaúba adicionados ao concentrado para vacas mestiças lactantes em dietas à base de silagem de Milho.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2012.

SOUZA, G. K. et al. Synthesis of ethyl esters from crude macauba oil (*Acrocomia aculeata*) for biodiesel production. *Fuel*, v. 165, p. 360–366, 2016.

SOUZA, Márcio Cleivo de Moraes; SOUZA, Luiz Di; CALDEIRA, Vinicius P. S. Síntese do biodiesel de ácido oleico: efeito do tipo de catalisador e da forma de aquecimento. In: ENCONTRO REGIONAL DE QUÍMICA, 5.; ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA, 4., Novembro de 2015. *Blucher Chemistry Proceedings*, v. 3, n. 1.

Torres CRA. 2013. Avaliação e perspectivas da Palma de óleo na América. In: Palmas-XVII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Fedepalma, Cartagena, Colômbia. Vol. 34, No Especial, Tomo II, pp.

Tilahun, W., Grossi, J., Favaro, S., Sedyama, C., Goulart, S., Pimentel, L., & Motoike, S. (2019). **Increase in oil content and changes in quality of macauba mesocarp oil along storage.** *OCL*. <https://doi.org/10.1051/OCL/2019014>.

Universidade Federal de Viçosa. "UFV participa do processo de transição energética em acordo assinado com empresa dos Emirados Árabes". 2023. Disponível em: <https://www2.dti.ufv.br/noticias/scripts/exibeNoticiaMulti.php?codNot=39942>. Acesso em: 15 dez. 23

United States Department of Agriculture [USDA]. 2022. Production, Supply and Distribution. Disponível em:

<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 15 de outubro 2023. 23.

UNITED STATES. **Department of Agriculture. Oilseeds: world markets and trade.** [Washington, DC], 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>. Acesso em: Maio. 2023.

VELOSO, P. H. F., CORRÊA, M. C. S., MENDES, M. G. A., SANTANA, J. M. V., & MAIA, F. A. (2023). **Saponificação do óleo de coco macaúba (*Acrocomia aculeata* (jacq.) lodd), como estratégia para o ensino de química e bioquímica.** Multifaces: Revista de Ciência, Tecnologia e Educação, 5(1), 72-83.

VARGAS-CARPINTERO, R., HILGER, T., MÖSSINGER, J., SOUZA, R. F., BARROSO ARMAS, J. C., TIEDE, K., & LEWANDOWSKI, I. (2021) ***Acrocomia spp.: neglected crop, ballyhooed multipurpose palm or fit for the bioeconomy? A review.*** Agronomy for Sustainable Development, 41(6), 75.

WALLER, D. M. The dynamics of growth and form. In: CRAWLEY, M. J. (Ed.). Plant ecology. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986. p. 291-320.

WANDECK, F. A.; JUSTO, P. G. A macaúba, fonte energética e insumo industrial: sua significação econômica no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, SAVANAS, 6., 1982, Brasília. Anais... Savanas: alimento e energia. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1988. p. 541-577.

WW-FBRASIL,2023. **Viabilidade da macaúba para a produção de biocombustível.**

Disponível em: [https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo\\_macauba\\_final\\_v3](https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo_macauba_final_v3).