



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**USO DE MARCADORES MOLECULARES PARA A  
AVALIAÇÃO DE MATRIZES E MELHORIA NA PRODUÇÃO  
DE MUDAS DE *Hancornia speciosa* COM BIOINSUMOS**

**SARA LORENA DE PÁDUA SOUZA**

**2024**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**SARA LORENA DE PÁDUA SOUZA**

**USO DE MARCADORES MOLECULARES PARA A AVALIAÇÃO DE MATRIZES  
E MELHORIA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Hancornia speciosa* COM  
BIOINSUMOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientadora  
Profa. Dra. Renata Silva Mann  
Coorientadora  
Dra. Valdinete Vieira Nunes

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL  
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Souza, Sara Lorena de Pádua.

S729u    Uso de marcadores moleculares para a avaliação de matrizes e melhoria na produção de mudas de *Hancornia speciosa* com bioinsumos./ Sara Lorena de Pádua Souza; orientadora Renata Silva-Mann. – São Cristóvão, SE, 2024.

62 f.: il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Agrobiodiversidade. 2. Mangaba. 3. Genética - Preservação. 4. Fenologia. 5. Sustentabilidade e meio ambiente. 6. Recuperação ecológica. I. Silva-Mann, Renata, orient. II. Título

CDU 634.6

**SARA LORENA DE PÁDUA SOUZA**

**USO DE MARCADORES MOLECULARES PARA A AVALIAÇÃO DE MATRIZES E  
MELHORIA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Hancornia speciosa* COM  
BIOINSUMOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Aprovada em 24 de julho de 2024.

Profa. Dra. Laura Jane Gomes (UFS)

Dra. Sheila Valéria Álvares Carvalho (UFAL)

Profa. Dra. Renata Silva Mann  
(Orientadora)

Dra. Valdinete Vieira Nunes  
(Coorientadora)

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL

*A um futuro no qual as pessoas compreendam que  
nós humanos somos parte do ciclo da natureza e que  
nossa existência depende inevitavelmente da  
proteção da nossa casa Terra.*  
**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Ao longo desses dois anos de curso ocorreram acontecimentos marcantes em minha vida. Foi um período repleto de algumas alegrias, reflexão e tomada de decisões importantes, assim como momentos de dúvidas, autossabotagem e de tristeza. Além dos conhecimentos profissionais há, com certeza, lições pessoais que vou levar comigo para sempre.

Sendo assim, inicio os agradecimentos à minha família por todo o apoio e amor dados a mim, desde sempre e para sempre.

Agradeço a Ariel Davino pelo amor, companheirismo e por ter sido meu principal suporte em momentos delicados. Aos meus amigos Ariele Paiva, Gleisson Neri, Lucas Alexandre, Paloma Andrade, Johnny Resende, Lázaro Santana pelos momentos de conversa, mesmo que rápidos, e companhia concedida, pois precisei bastante.

À comunidade de extrativistas da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá que acolheu o nosso grupo com tanto carinho e possibilitou que nós, a partir de nossos estudos, pudéssemos contribuir para a proteção e esclarecimento das ações necessárias para a manutenção da área.

A todos do grupo de pesquisa GENAPLANT pelas parcerias e momentos compartilhados, em especial à Elba Costa e Daniel Luiz pela grande ajuda com os mapas.

À profa. Dra. Valdinete Vieira Nunes (coorientadora), pelo auxílio em todas as etapas, que foram essenciais para o andamento dessa pesquisa.

Aos voluntários que ajudaram com o trabalho de campo ao longo de meses. Vocês foram incríveis e espero que tenham aprendido com as atividades realizadas na Reserva e em laboratório.

À empresa Biomulti/Biofarm, por meio de seu representante Isac Pereira Soares Martins (diretor) e ao engenheiro agrônomo Wallison Oliveira Vieira (engenheiro de pesquisa) pelos insumos disponibilizados para condução dos experimentos.

Ao Prof. Paulo Roberto Gagliardi (DEA-UFS) pela disponibilidade de estrutura laboratorial e insumos para a condução da pesquisa.

À profa. Renata Silva Mann pela orientação e lições dadas ao longo desses anos.

Às participantes da banca profa. Dra. Laura Jane Gomes (UFS) e profa. Dra. Sheila Valéria Álvares Carvalho (UFAL) pela disponibilidade e pelas contribuições a esse trabalho.

Ao PPGAGRI, pelo suporte e estrutura nesses anos de pesquisa.

À Universidade Federal de Sergipe pela estrutura ofertada.

À CAPES pela concessão da bolsa que me permitiu continuar nesses 2 anos de pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Genoma e Diversidade genética	2
2.2 Bancos Ativos de Germoplasma	6
2.3 Variedade Morfológica de Frutos	7
2.4 Estudos em Áreas Protegidas	8
2.5 Desafios e técnicas para conservação	8
2.6 Compostos Químicos da Mangabeira	9
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
4. ARTIGO 1: ESTRUTURA GENÉTICA E DINÂMICA POPULACIONAL DE <i>Hancornia speciosa</i> EM UMA RESERVA EXTRATIVISTA NO NORDESTE BRASILEIRO	13
4.1. Introdução	14
4.2. Material e Métodos	15
4.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	15
4.2.2 Caracterização Dendrométrica e Variabilidade Fenotípica	16
4.2.3 Diversidade Genética	17
4.2.4 Análise dos Dados	18
4.3. Resultados	18
4.3.1 Dendrometria	18
4.3.2 Fenologia	22
4.3.3 Parâmetros Genéticos	24
4.3.4 Índice de Gower	27
4.4. Conclusão	27
4.5. Referências Bibliográficas	28
5. ARTIGO 2: USO DE BIOINSUMOS EM SEMENTES DE <i>Hancornia speciosa</i> VISANDO A PRODUÇÃO DE MUDAS EM AMBIENTE RESTAURATIVO	32
5.1. Introdução	32
5.2. Material e métodos	33
5.2.1 Experimento 01: Laboratório	33
5.2.1.1 Tratamento das Sementes	34
5.2.1.2 Germinação e Índice de Velocidade de Germinação	34
5.2.1.3 Análise de Imagem	35
5.2.2 Experimento 02: Viveiro Florestal	35
5.2.2.1 Análise dos Dados	36
5.3. Resultados	36
5.4. Conclusão	45
5.5. Referências	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Figura 0.1. Países com produção científica sobre a diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes em publicações científicas de 2011 a 2023.	2
Figura 0.2. Produção científica no espaço temporal de 2011 a 2023, dos países ao longo dos anos sobre a diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	3
Figura 0.3. Nuvem de palavras mais frequentes identificadas associadas a estudos sobre a diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes em publicações de 2011 a 2023.	3
Figura 0.4. Autores com maior número de publicações sobre diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	4
Figura 0.5. Instituições mais relevantes para estudos sobre a diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	5
Figura 0.6. Fontes mais citadas sobre estudos da diversidade genética de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	5

### ARTIGO 1. ESTRUTURA GENÉTICA E DINÂMICA POPULACIONAL DE *Hancornia speciosa* EM UMA RESERVA EXTRATIVISTA NO NORDESTE BRASILEIRO

Figura 1.1. Vista aérea da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, Aracaju-SE.	15
Figura 1.2. Divisão em lotes da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, Aracaju-SE.	16
Figura 1.3. Fruto da mangabeira (A); Coleta de dados dendrométricos de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes (B)	17
Figura 1.4. Histogramas com dados dendrométricos das matrizes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes	19
Figura 1.5. Dendrograma da dissimilaridade baseada em dados dendrométricos de indivíduos de <i>Hancornia speciosa</i> da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.	20
Figura 1.6. Comparação das características dendrométricas entre 6 diferentes lotes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.	21
Figura 1.7. Fenologia de flores e frutos nas matrizes de <i>Hancornia speciosa</i> na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.	23
Figura 1.8. Dendrograma de diversidade genética entre indivíduos de <i>Hancornia speciosa</i> por meio do coeficiente de Jaccard.	25
Figura 1.9. Análise de Coordenadas Principais das 69 matrizes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	26
Figura 1.10. Índice de dissimilaridade de Gower para matrizes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	27

### ARTIGO 2. USO DE BIOINSUMOS EM SEMENTES DE *Hancornia speciosa* Gomes VISANDO A PRODUÇÃO DE MUDAS EM AMBIENTE RESTAURATIVO

Figura 2.1. Matrizes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes na Reserva Extrativista (A); Beneficiamento dos frutos da mangabeira (B); Sementes de mangabeira (C).	33
Figura 2.2. Tratamento pré-germinativo em sementes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	34
Figura 2.3. Testes de germinação com sementes de <i>Hancornia speciosa</i> Gomes.	35

- Figura 2.4. Avaliação de mudas de *Hancornia speciosa* Gomes em viveiro florestal do Departamento de Ciências Florestais (UFS-São Cristóvão) após tratamentos pré-germinativos. 36
- Figura 2.5. Distribuição das variáveis de crescimento e resposta em tratamentos de laboratório com sementes tratadas de *Hancornia speciosa*. G= germinação; IVG = Índice de Velocidade de Germinação; Geo\_A = área da plântula; Geo\_P = perímetro; G\_NR = número de ramificações de plântulas; G\_razão = razão razão-hipocótilo; G\_TRP = tamanho da raiz primária; G\_TRS = tamanho da raiz secundária; G\_TA = tamanho da parte aérea; G\_TT = tamanho total. 37
- Figura 2.6. Efeito de biopriming, hidropiming e controle na altura de plântulas de *Hancornia speciosa* ao longo do tempo. 37
- Figura 2.7. Análise de imagens de plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes. T1 – hidropiming (2, 4 e 6h) e T2 – biopriming (2,4 e 6h).; e gráfico com comparação múltipla pelo teste de Dunnett. 38
- Figura 2.8. Comparação da germinação de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes sob diferentes tratamentos e tempos. 39
- Figura 2.9. Efeito de diferentes métodos pré-germinativos na área foliar, perímetro e número de ramificações em plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes. 40
- Figura 2.10. Influência de tratamentos pré-germinativos no tamanho da raiz primária em plantas de *Hancornia speciosa* Gomes. 41
- Figura 2.11. Distribuição das variáveis de crescimento e resposta em tratamentos de plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes em viveiro. 42
- Figura 2.12. Evolução de altura e diâmetro por tipo de tratamento ao longo do tempo para tratamentos pré-germinativos em sementes de *Hancornia speciosa* Gomes. 42
- Figura 2.13. Comparação do Índice de Qualidade de Dickson em plantas de *Hancornia speciosa* Gomes obtidas com sementes tratadas biopriming e hidropiming. 43
- Figura 2.14. Variação do diâmetro de tratamentos pré-germinativos em sementes de *Hancornia speciosa* Gomes. 44
- Figura 2.15. Análise de componentes principais (PCA) dos tratamentos (esquerda) e distribuição (direita) da influência das variáveis para indicadores de crescimento e geometria em plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes obtidas após tratamentos pré-germinativos. 45

**LISTA DE TABELAS**

ARTIGO 1. ESTRUTURA GENÉTICA E DINÂMICA POPULACIONAL DE *Hancornia speciosa* EM UMA RESERVA EXTRATIVISTA NO NORDESTE BRASILEIRO

Tabela 1.1. Primers ISSR utilizados no estudo de diversidade genética de matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes. 17

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%G	Porcentagem de Germinação
%P	Porcentagem de <i>Locos</i> Polimórficos
AC	Área da Copa (m <sup>2</sup> )
ALT	Altura (m)
ANAVA	Análise de variância
AT	Altura Total
BAG	Banco Ativo de Germoplasma
BLUP	Valor Genético Pré-Definido
CAP	Circunferência à Altura do Peito
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
Deq	Diâmetro Equivalente
DIAM	Diâmetro do Colo
dNTP	Desoxirribonucleotídeo Fosfatado
Emepa	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba
G	Germinação
He	Heterozigosidade Esperada
I	Índice de Shannon
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
ISSR	Inter Simple Sequence Repeat
IVG	Índice de Velocidade de Germinação
LENTES	Laboratório de Ensino e Tecnologia de Sementes
Mb	Megabases
MSP	Massa Seca da Planta
MSPA	Massa Seca da Parte Aérea
MSR	Massa Seca da Raiz
Na	Alelos Observados
NCBI	Center for Biotechnology Information
Ne	Alelos Efetivos
NR	Número de Ramificações de Raízes
PCA	Análise de Coordenadas Principais
PVP	Polivinilpirrolidona
RTRPA	Razão do Tamanho da Raiz Primária pela Parte Aérea
SNP	Single Loco Markers
SPU	Superintendência do Patrimônio da União
TAU	Termo de Autorização de Uso
TPA	Tamanho da Parte Aérea
TRP	Tamanho da Raiz Primária
TRS	Tamanho das Raízes Secundárias
TT	Tamanho Total
uHe	Heterozigosidade Esperada Imparcial

## RESUMO

SOUZA, Sara Lorena de Pádua. **Uso de marcadores moleculares para a avaliação de matrizes e melhoria na produção de mudas de *Hancornia speciosa* com bioinsumos.** São Cristóvão: UFS, 2024. 62p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).\*

Este estudo focou na avaliação da diversidade genética e fenotípica da *Hancornia speciosa*, conhecida como mangaba, para fundamentar estratégias de conservação *in situ* e uso sustentável. Analisou-se a estrutura genética e a dinâmica populacional desta espécie na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, localizada em Aracaju-SE. Foram analisadas 69 matrizes de *H. speciosa*, empregando caracterização dendrométrica e análises genéticas utilizando marcadores ISSR. A heterozigosidade esperada foi de 0,28 e o índice de Shannon de 0,44, indicando uma diversidade genética de moderada a alta. Com um polimorfismo de 100% para todos os fragmentos de ISSR avaliados, foram identificados 64 locos polimórficos genéticos, refletindo uma significativa variabilidade genética que é crucial para a resiliência da espécie diante de mudanças ambientais e pressões antropogênicas na área e no seu entorno. Além dos parâmetros genéticos, avaliou-se também a fenologia das plantas durante as coletas de material vegetal para as análises moleculares. Houve presença e ausência de flores e frutos, o que proporcionou um entendimento sobre os ciclos reprodutivos e a dinâmica populacional da espécie dentro da reserva. Um fator inovador do estudo foi a aplicação de bioinsumos para a produção de mudas de mangabeira, com destaque para o uso do fungo *Trichoderma* sp. Este tratamento específico mostrou-se o mais eficaz, melhorando significativamente o desenvolvimento das mudas em comparação com outros tratamentos testados. O uso de *Trichoderma* não só estimulou o crescimento das plantas, como também pode ter contribuído para a resistência a doenças e a eficiência na absorção de nutrientes, aspectos essenciais para o sucesso da restauração ecológica sustentável na área. Esses achados são fundamentais para a formulação de um plano de manejo eficaz que inclua estratégias de proteção intensificada, restauração ecológica e o uso de bioinsumos na produção de mudas. A implementação dessas práticas visa não apenas a conservação da biodiversidade, mas também a integração da comunidade local em esforços de conservação, garantindo a sustentabilidade ambiental, social e econômica da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.

**Palavras-chave:** Genética de conservação, fenologia, sustentabilidade, restauração ecológica, resiliência ambiental, diversidade genética.

---

\* Comitê Orientador: Renata Silva Mann – UFS (Orientadora), coorientadora: Valdinete Vieira Nunes (UFS).

**ABSTRACT**

SOUZA, Sara Lorena de Pádua. **Use of molecular markers for the assessment of matrices and potential of bio-inputs in the production of *Hancornia speciosa* seedlings.** São Cristóvão: UFS, 2024. 62 f. (Dissertation - master's in agriculture and Biodiversity).

This study focused on assessing the genetic and phenotypic diversity of *Hancornia speciosa*, known as mangaba, to support conservation strategies and sustainable use. The genetic structure and population dynamics of this species were analyzed in the Missionário Uilson de Sá Extractive Reserve in Aracaju-SE. Were analyzed 69 *H. speciosa* matrices, employing dendrometric characterization and genetic analyses using ISSR markers. The expected heterozygosity was 0.28 and the Shannon index was 0.44, indicating moderate to high genetic diversity. With 100% polymorphism for all evaluated ISSR fragments, 64 genetic polymorphic loci were identified, reflecting significant genetic variability crucial for the species' resilience in the face of environmental changes and anthropogenic pressures in the area and its surroundings. In addition to genetic parameters, the phenology of the plants was also evaluated during the collection of plant material for molecular analyses. The presence and absence of flowers and fruits provided an understanding of the reproductive cycles and population dynamics of the species within the reserve. An innovative aspect of the study was the application of bioinputs for seedling production, particularly the use of the fungus *Trichoderma* sp. This specific treatment proved to be the most effective, significantly improving the development of the seedlings compared to other tested treatments. The use of *Trichoderma* not only stimulated plant growth but may also have contributed to disease resistance and nutrient absorption efficiency, essential aspects for the success of sustainable ecological restoration in the area. These findings are fundamental for formulating an effective management plan that includes strategies for intensified protection, ecological restoration, and the use of bioinputs in seedling production. The implementation of these practices aims not only at biodiversity conservation but also at integrating the local community into conservation efforts, ensuring the environmental, social, and economic sustainability of the Missionário Uilson de Sá Extractive Reserve.

**Key-words:** Conservation genetics, phenology, sustainability, ecological restoration, environmental resilience, genetic diversity.

---

\* Guidance Committee: Renata Silva Mann (Advisor), Valdinete Vieira Nunes (Adjunct advisor).



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento das pressões antrópicas sobre os ecossistemas naturais intensifica a necessidade de abordagens eficazes para a conservação da biodiversidade. No contexto do Nordeste brasileiro, a Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, localizada em Aracaju-SE, representa um refúgio vital para diversas espécies locais ou regionais e economicamente importantes, incluindo a *Hancornia speciosa* Gomes, comumente conhecida como mangaba. A preservação dessa espécie é crucial, não apenas devido ao seu valor ecológico e socioeconômico, mas também por sua contribuição para a estabilidade dos ecossistemas locais.

Dada a vulnerabilidade da mangaba a perturbações ambientais e à exploração desenfreada, é fundamental entender sua dinâmica populacional e diversidade genética para implementar estratégias de conservação eficazes. O uso de marcadores moleculares tem se mostrado uma ferramenta valiosa na avaliação genética de populações naturais, permitindo estudos detalhados sobre a estrutura genética e a variabilidade intraespecífica, essenciais para o manejo e conservação da espécie.

Além disso, a aplicação de bioinsumos na agricultura surge como uma prática promissora para melhorar a sustentabilidade dos sistemas de produção vegetal. No caso específico da mangaba, a utilização de bioinsumos na produção de mudas pode potencializar o sucesso dos programas de restauração ecológica, oferecendo benefícios tanto para o crescimento das plantas quanto para a resiliência ambiental. O uso de bioinsumos à base de microrganismos benéficos tem demonstrado capacidade de melhorar significativamente o desenvolvimento das mudas de *H. speciosa*, além de aumentar a resistência das plantas a doenças e melhorar a eficiência na absorção de nutrientes.

Assim, este estudo visa integrar esses dois aspectos fundamentais — a genética e o uso de bioinsumos — para fornecer uma base científica robusta que apoie as decisões de manejo na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá. Ao fazer isso, o estudo não só contribui para a ciência da conservação como também oferece um modelo replicável para outras áreas protegidas e sistemas agrícolas que buscam harmonizar a preservação da biodiversidade com o uso sustentável dos recursos naturais.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Genoma e Diversidade genética

As espécies vegetais da ordem Gentianales, da qual a mangabeira faz parte, possuem genomas considerados pequenos (menor que 3,5 pg- picogramas). Em estudo realizado para a espécie empregando citometria de fluxo por Santos (2018), verificou-se que o tamanho do genoma de duas variedades de *Hancornia speciosa* (var. *speciosa* e var. *gardneri*) foi de aproximadamente 860 Mb (megabases) e possui 15% de elementos repetitivos, ou seja, sequências se repetem ao longo do genoma.

A maioria dos componentes dessas repetições é formada por LTS/Gypsy, retrotransposons de sequência terminal longa. Eles são responsáveis pelo paradoxo do valor C, no qual o tamanho do genoma não possui relação com a complexidade da espécie (Santos, 2018).

No National Center for Biotechnology Information (NCBI, 2022), constatou-se que há 239 sequências de proteínas depositadas, 78 delas compartilhadas com outras espécies, ou seja, conservadas. Os nucleotídeos depositados totalizam 278 tipos e não há genes registrados na plataforma.

O paradoxo do valor C é essencial para garantir a complementaridade que as informações anatômicas, morfológicas, ecofisiológicas e moleculares expõem sobre *H. speciosa*. A espécie necessita de mais estudos que envolvam estas temáticas, a fim de fornecer dados para o melhor entendimento da árvore. Desta forma, as ações de conservação e garantia de diversidade genética podem ser aplicadas de forma mais eficiente.

Tratando-se da diversidade genética, verifica-se um número maior de publicações, em levantamento bibliográfico realizado em junho de 2023 nas bases Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) e Web of Science ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)), por meio dos booleanos ((*hancornia*)) AND ((genetic)) AND ((diversity)), após remoção de artigos duplicados, foram recuperadas 41 publicações acerca do tema.

Os países mais produtivos com relação ao desenvolvimento de estudos sobre diversidade genética de *H. speciosa* foram, respectivamente: Brasil, Espanha e Moçambique. O Brasil destaca-se no ranking, fato justificado uma vez que a espécie é nativa do país.



Figura 0.1. Países com produção científica sobre a diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes em publicações científicas de 2011 a 2023.

Com relação à produção de artigos científicos ao longo dos anos, no Brasil foram geradas quarenta publicações entre 2011 e 2023, sendo os anos de 2017 e 2021 os de maior número. Após 2021, houve uma crescente na produção de material científico. Nas parcerias

entre o Brasil e outras nações para estas publicações, pesquisadores da Espanha estavam envolvidos em três artigos, divulgados no mesmo ano de 2011. Na parceria com Moçambique houve apenas um artigo no ano de 2023.

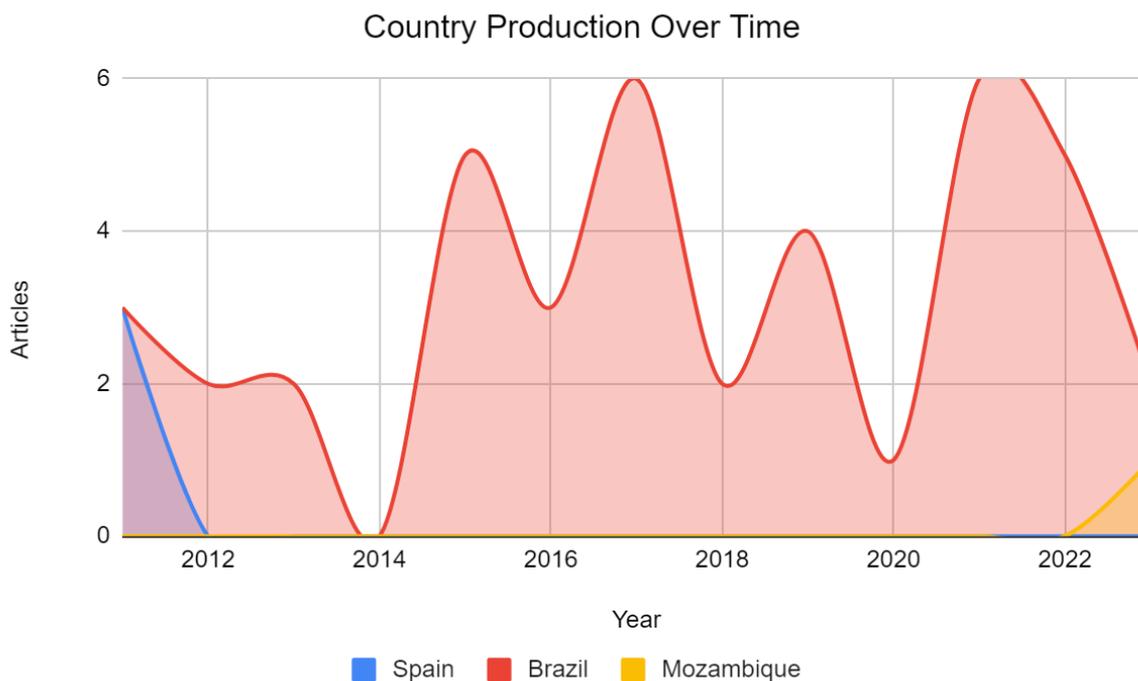


Figura 0.2. Produção científica no espaço temporal de 2011 a 2023, dos países ao longo dos anos sobre a diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes.

Quanto às palavras mais usadas nos títulos dos artigos científicos, os termos “genetic diversity”, “diversity”, “fruits” e “*Hancornia speciosa* gomes” foram os mais frequentes.

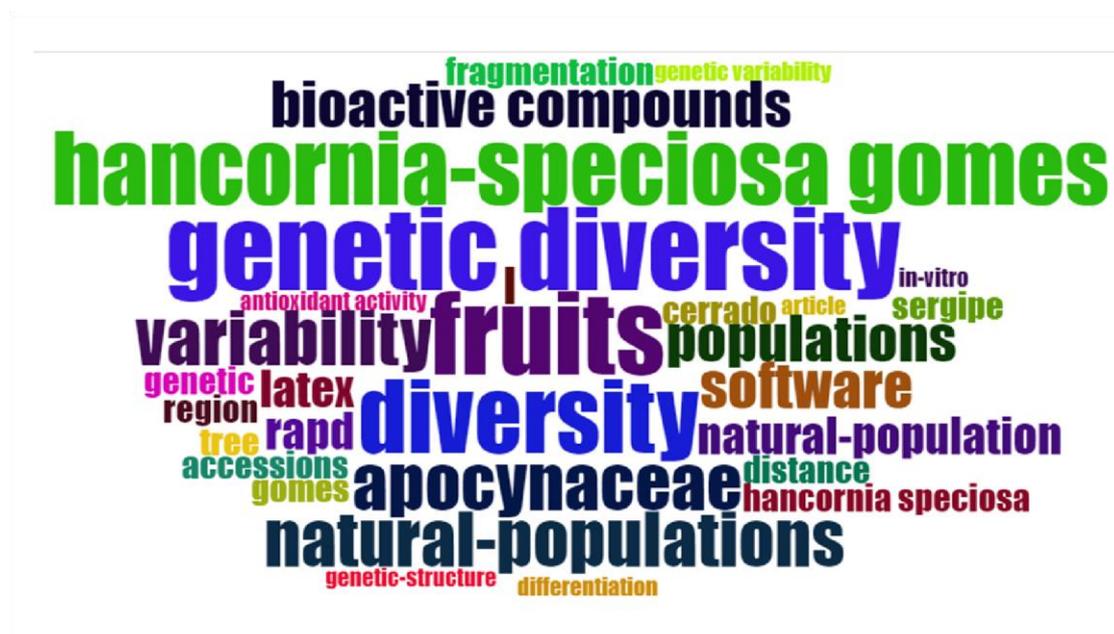


Figura 0.3. Nuvem de palavras mais frequentes identificadas associadas a estudos sobre a diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes em publicações de 2011 a 2023.

Os autores de artigos sobre a diversidade genética da espécie, mais frequentes, são, respectivamente: Ana Veruska Cruz Silva, com 15 produções, Ana Silva Ledo, com 11 artigos,

e Josué Francisco da Silva Júnior, com 7 documentos publicados. Estes pesquisadores estão lotados na região Nordeste e representam a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

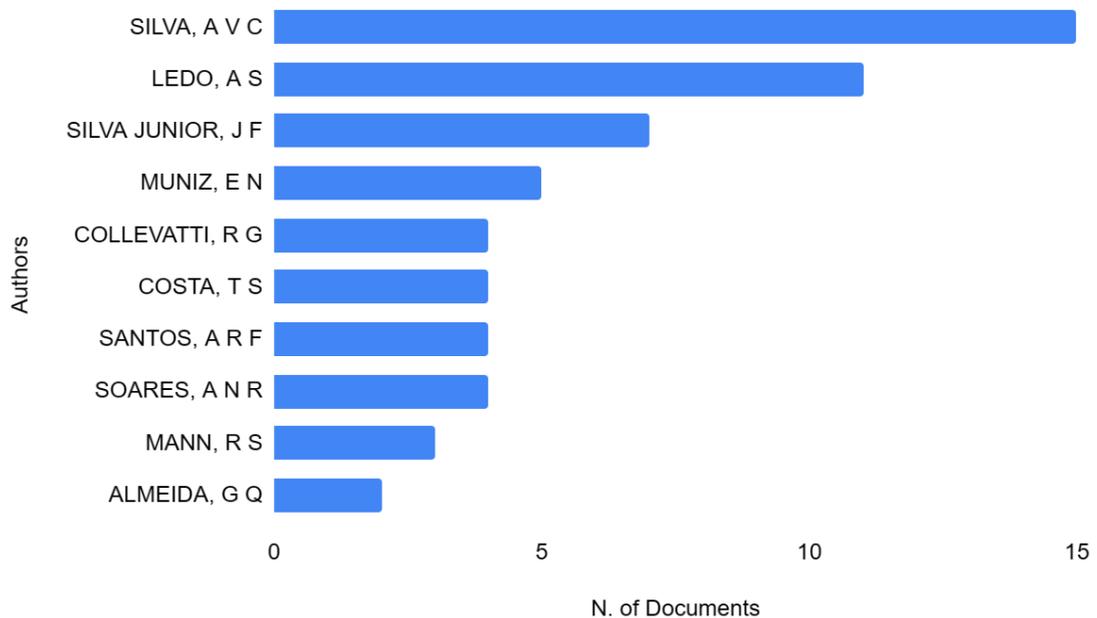


Figura 0.4. Autores com maior número de publicações sobre diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes.

As instituições que mais produzem artigos científicos sobre *H. speciosa* são, respectivamente: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Universidade Federal de Sergipe, ambas com 21 artigos. Das 10 instituições relacionadas, 3 delas estão localizadas no Nordeste brasileiro, 3 na região Centro-Oeste e 3 no Sudeste.

Dos centros de pesquisa estrangeiros, na Espanha os artigos são provenientes de parceria entre Universidades nacionais e a Universidade de Santiago de Compostela. Em Moçambique as publicações originam-se da Universidade Lúrio, com associação a centros nacionais.

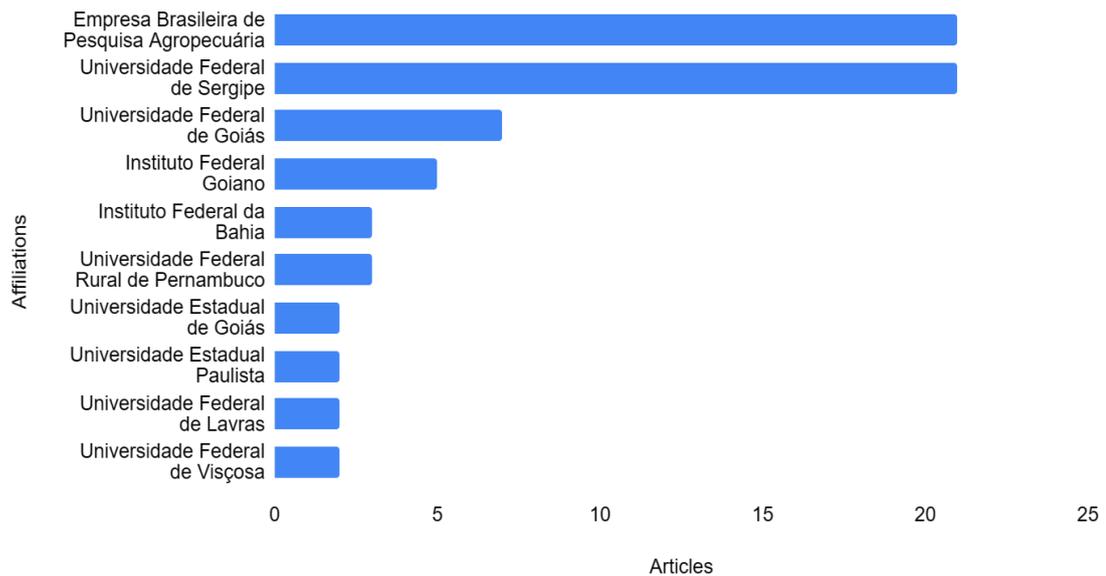


Figura 0.5. Instituições mais relevantes para estudos sobre a diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes.

As fontes mais citadas foram a Genetic and Molecular Research (7), Revista Brasileira de Fruticultura (5) e Genetic Resources and Crop Evolution (5). Das 10 fontes apresentadas, 6 delas são brasileiras e 4 são internacionais. Sergipe é o estado com maior produção científica sobre *H. speciosa*, uma vez que abriga as 2 autoras mais frequentes e as instituições mais relevantes no assunto.

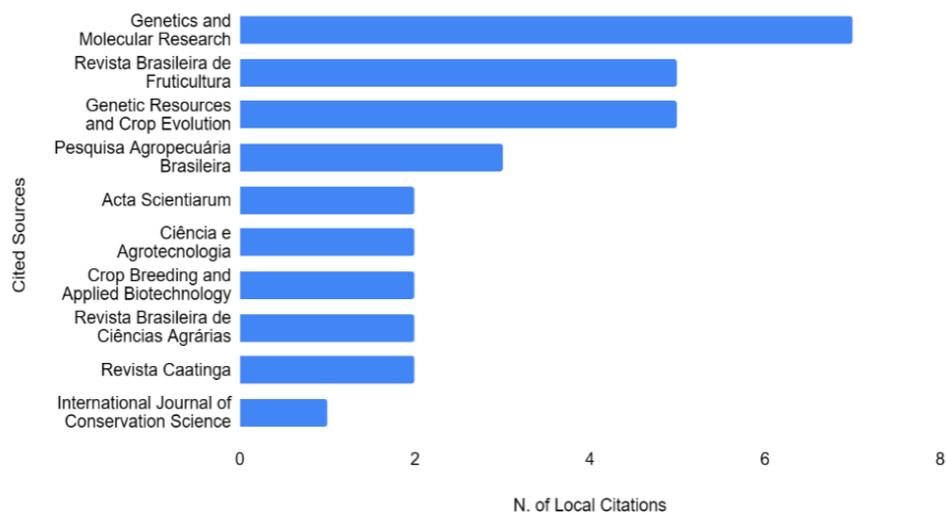


Figura 0.6. Fontes mais citadas sobre estudos da diversidade genética de *Hancornia speciosa* Gomes.

Em Sergipe, as populações de *H. speciosa* localizadas na Baixa Grande, Pontal, Ribuleirinha e São Sebastião foram consideradas hotspots. Foram testados no estudo 14 primers de ISSR, sendo selecionados 6 devido ao alto grau de polimorfismo e intensidade das bandas. Os valores dos parâmetros populacionais e genéticos destas regiões foram altos, sendo as médias do índice de Shannon de 0,44 e o índice de Nei de 0,29. Os maiores valores ( $I=0,53$  e  $H=0,36$ ) ocorreram em Baixa Grande, área do município de Pirambu (Álvares-Carvalho *et al.*, 2022).

No BAG de Itaporanga D'Ajuda-SE, pesquisa realizada com 9 primers SSR revelou que o número de alelos efetivos foi menor que o de alelos observados, com possível taxa elevada de alelos raros ou de baixa frequência. Com exceção do acesso PR (procedência: Indiaroba-SE), os demais estudados apresentaram baixa heterozigosidade, com suspeitas de cruzamento entre indivíduos aparentados. Há diversidade genética dos acessos, com 90,47% de locos polimórficos e índice de Shannon de 1,04 (Silva *et al.*, 2023).

Observando ainda o BAG anterior, pesquisa com uso de primers ISSR resultou na variação da porcentagem de locos polimórficos (%P) de 55 a 75, concluindo-se que há altos níveis polimórficos nas populações observadas em Barra dos Coqueiros, Itaporanga D'Ajuda e Estância. A média da heterozigosidade esperada ( $H_e$ ) foi de 0,26, o que indica alta proporção de homozigotos ou heterozigotos na população computada; a perda de alelos é comum, uma vez que se trata de uma população natural (Silva *et al.*, 2017).

Em variedades de *H. speciosa* provenientes da coleção de germoplasma da Universidade Federal de Goiás foram observados híbridos usando locos de microssatélites. No entanto, não foram relatados fenômenos de heterose ou depressão endogâmica, o que demonstra que as diferenças morfológicas da espécie não possuem base genética, mas sim ecológica (Collevatti *et al.*, 2016).

Um total de 120 dos 160 locos obtidos com 11 primers do tipo ISSR mostraram-se polimórficos, em estudo no BAG da Embrapa Meio-Norte. Os acessos eram provenientes dos estados de Sergipe (1), Bahia (1), Distrito Federal (3), Piauí (11) e Paraíba (13) e alta variação genética foi encontrada dentro das populações (69,66%), valor indicado por análise de variância molecular. O estado do Piauí foi o mais geneticamente diverso, com 95 locos polimórficos (57,23 %P). O índice de Shannon resultou em 0,39 e a diversidade genética de Nei foi de 0,26 (Luz *et al.*, 2020).

Uma seleção de 30 marcadores para mangaba foi realizada no BAG de Itaporanga D'Ajuda-SE, os quais foram categorizados em quantitativos e qualitativos. Foram escolhidos 8 marcadores para caracterização de mangabeira em germoplasma: formato de coroa; posição da inflorescência; forma, diâmetro e massa do fruto; número e massa de sementes e uniformidade de tamanho dos frutos (Muniz *et al.*, 2019).

A manutenção da diversidade genética em populações naturais é primordial para o equilíbrio ecológico do ecossistema. A variabilidade permite maior chance de adaptação às eventuais mudanças ambientais, sobrevivência e perpetuação da informação genética populacional. Quando tal variedade é reduzida, fatores como depressão genética e endogamia surgem; quando perdida por completo, a única alternativa é a extinção. Portanto, a intervenção humana nesse sistema é, não apenas uma forma de reparação aos danos causados, mas também ação de autopreservação.

## 2.2 Bancos Ativos de Germoplasma

O processo de melhoramento e conservação de qualquer espécie deve iniciar com a criação de BAGs (Bancos Ativos de Germoplasma). Estes podem ser realizados na categoria *in situ*, como é o caso de espécies protegidas em Unidades de Conservação e áreas naturais, ou *ex situ*, nas quais há possibilidade de conservar partes vegetais da espécie de interesse em locais controlados.

Um subtipo da categoria *in situ* é a conservação on farm, na qual a espécie ocorre em áreas de fazenda e campos, com plantações monitoradas dos representantes da espécie. A alocação de espécies em BAG é essencial para a conservação da variabilidade genética e proteção de espécies ameaçadas por meio da manutenção e propagação do material (Ramalho *et al.*, 2012).

No caso de *H. speciosa*, existe o BAG *in vivo* da Embrapa Tabuleiros Costeiros, criado em 2006 na cidade de Itaporanga d'Ajuda-SE. Na categoria *ex situ* há germoplasma em diversas sedes da Embrapa (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Embrapa Cerrados, Embrapa Amapá e Embrapa Meio-Norte), na Universidade Federal de Goiás, na Universidade Federal de Alagoas,

na Universidade Estadual de Goiás e na Emepa (Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba) (Silva Júnior *et al.*, 2018).

Em pesquisa realizada com acessos de *H. speciosa* do Banco Ativo de Germoplasma de Mangaba em Itaporanga D'ajuda, concluiu-se que a diversidade genética foi maior dentro dos acessos de uma mesma procedência do que entre procedências (Costa *et al.*, 2011). Tal variedade encontrada em acessos de uma mesma procedência indica um dado positivo sobre a heterozigiosidade e manutenção das populações estudadas.

Estudo desenvolvido com 192 acessos individuais de 57 progênes do BAG da Universidade Federal de Goiás foi realizado com o índice FAI-BLUP. Tal metodologia é aplicável para avaliação da diversidade genética, além de selecionar os melhores indivíduos para estudos de melhoramento. A possibilidade de trabalhar com dados não balanceados e por consequência não precisar atribuir pesos aos fatores são algumas das vantagens do índice. Os 10 melhores indivíduos selecionados são provenientes destas localidades, respectivamente: Coxim/MS (Código de acesso 140/ progênie 46; 145/47; 141/46), General Carneiro/MT (97/34), Caçu/GO (177/56; 175/55; 173/55), Jaciara/MT (115/39), Alcinópolis/MS (162/51), Chapada dos Guimarães/MT (107/37) (Almeida *et al.*, 2021).

Por meio da análise Bayesiana realizada pelo software Structure foi observado que os acessos referentes ao BAG da Embrapa, em Itaporanga D' Ajuda-SE, originários dos estados de Alagoas (JA, PM), Pernambuco (GU, OI, CN, TM), Minas Gerais (CM, TA, CH) e Pará (AB) possuem baixa diversidade genética. Os acessos referentes aos estados da Bahia (CV, LG, BI, CA) e a maioria da Paraíba (PA, GX, IP) são mais heterogêneos (Silva *et al.*, 2019).

Estudos como estes são essenciais para caracterizar a mangabeira ao longo do território brasileiro, além de expor o estado de conservação da espécie quando aplicados estudos moleculares, recorrendo-se a material vegetal conservado. É importante que a gestão pública dê mais valor aos Bancos Ativos de Germoplasma, visto que estes são essenciais para a salvaguarda do patrimônio genético de um território. Aos órgãos de meio ambiente dos estados que apresentaram dados de baixa variabilidade genética, é sugerido implementar políticas públicas e ações para garantir a manutenção da diversidade em populações naturais de *H. speciosa*.

### 2.3 Variedade Morfológica de Frutos

A espécie produz o fruto denominado “mangaba”, muito apreciado pela população pelo sabor, sendo principalmente consumido in natura, na forma de bebidas como sucos e licores e usado na produção de sorvetes e doces. Comunidades tradicionais extrativistas, a exemplo das Catadoras de Mangaba em Sergipe, têm como principal meio de sustento a venda do próprio fruto e seus derivados. Assim, nota-se a importância socioeconômica da mangaba (Nunes, 2018; Oliveira *et al.*, 2018). Os frutos são ricos em vitamina C, carotenoides, ácido ascórbico e ferro (Santos *et al.*, 2017).

O estudo morfológico dos frutos também é importante para seleção dos melhores genótipos, que garantem maior produtividade, assim gerando mais renda. Os marcadores morfoagronômicos mais divergentes quanto à variabilidade genética de frutos de mangaba na região de Iramaia-BA são a massa da polpa e a massa do fruto (Silva *et al.*, 2013).

As características morfológicas podem variar de região para região. Após estudo em 3 municípios de Sergipe, os frutos de Barra dos Coqueiros apresentaram maior peso (21,1 g), quando comparados com os frutos de Estância e Itaporanga D' Ajuda. Os frutos de Estância foram superiores em tamanho, com médias do diâmetro longitudinal e transversal de 44,91 e 476,54 cm, respectivamente. Além disso, comporta os frutos com maior teor de vitamina C, com 414,81 mg vit.C/100 g (Silva *et al.*, 2017). Na população de mangabeiras presentes em área rural da cidade de Pirambu, Sergipe, os frutos apresentaram variação do diâmetro longitudinal entre 17,5-45,0 mm e para o diâmetro transversal, de 14,9 a 44,4 mm (Nunes *et al.*, 2021).

Estudos que explorem as diversidades encontradas em frutos, desenvolvidos por matrizes arbóreas de diferentes variedades e localidades, são essenciais para fornecer dados dos melhores fenótipos identificados quanto à característica de interesse. A partir disso, pode haver seleção para projetos de melhoramento que visam a seleção de plantas mais produtivas e, portanto, gerar maior rentabilidade por meio da venda dos frutos e/ou polpa, por exemplo. A definição de parâmetros quanto ao melhor estágio para coleta do fruto também deve ser melhor explorada para compor o processo da cadeia produtiva (Gomes, 1998) da mangabeira.

#### 2.4 Estudos em Áreas Protegidas

Em estudo feito no Parque Estadual de Caldas Novas, Goiás, identificou-se que os fragmentos florestais de *H. speciosa* presentes no Cerrado Rupestre e Cerrado Típico possuem alta variabilidade genética e porcentagem elevada de polimorfismo, podendo ser uma evidência de fluxo gênico entre as áreas e adaptação ao ambiente (Bogéa *et al.*, 2021).

A área metropolitana de Aracaju, que compreende nove municípios, foi classificada como o local de maior ocorrência de mangabeira do estado de Sergipe, com porcentagens de 69 a 74%. Neste caso a presença de Unidades de Conservação na microrregião, a exemplo da Reserva Biológica Santa Isabel e as Áreas de Proteção Ambiental Norte e Sul do Litoral, só reforçam a proteção e manutenção do ecossistema local (Álvares-Carvalho *et al.*, 2022). No entanto, não existem informações para a Reserva Extrativista de mangabeiras em Aracaju.

No Parque Estadual Dunas de Natal, no Rio Grande do Norte, o isolamento geográfico das mangabeiras presentes e a pressão antrópica são os possíveis fatores para a baixa variabilidade genética encontrada empregando marcadores ISSR (Costa *et al.*, 2015).

No entanto, cada população traz suas especificidades. Em uma população do Parque Estadual Serra do Jaraguá, Goiás, observou-se alta diversidade genética, uma vez que grande parte dos locos avaliados apresentaram baixa probabilidade de identidade genética e alta probabilidade de exclusão paterna. Com relação à estrutura genética espacial, os indivíduos adultos mostraram-se mais distantes entre si (~144 metros) quando comparados aos jovens (~135 metros) (Costa *et al.*, 2017).

Entretanto, o valor do parentesco para a primeira classe de distância dos indivíduos juvenis foi maior que a dos adultos ( $r^2 = 0.0014 > 0.0005$ ). Tal fato abre discussões quanto às espécies responsáveis pela polinização da mangabeira a longas distâncias e a dispersão das sementes. Apesar da alta diversidade genética, o índice de endogamia é elevado, provavelmente devido à endogamia dos parentais (Costa *et al.*, 2017).

O estudo em áreas protegidas é essencial para a manutenção da conservação de espécies mais ameaçadas, visto que ao longo dos anos perdem território natural para urbanização e construções, além de redução dos indivíduos por fuga ou morte. Os gestores das Unidades de Conservação devem seguir o Plano de Manejo, quando existente, e buscar as possíveis soluções para remediação da baixa diversidade genética dentro de uma mesma espécie, a exemplo introdução de mudas provenientes de regiões com alta variabilidade.

#### 2.5 Desafios e técnicas para conservação

As sementes de mangaba são consideradas recalcitrantes, ou seja, não toleram altos níveis de desidratação nem armazenamento a baixas temperaturas. Este tipo de semente é um desafio quando se fala em conservação. Ainda, são requeridas técnicas muito particulares para o sucesso da salvaguarda dessas sementes, sem perder vigor e qualidade necessária para o sucesso germinativo. Estudos vêm sendo elaborados para apresentar soluções ao armazenamento por longos períodos de sementes recalcitrantes, a exemplo da pesquisa realizada por Nunes *et al.* (2022b) com *H. speciosa*.

Técnicas como a criopreservação, micropropagação, além de métodos de estaquia e enxertia vêm sendo estudados como possibilidades para a conservação da mangabeira a partir de diferentes partes vegetais. A produção de mudas da espécie é dispendiosa, graças às dificuldades de adaptação aos substratos e aos insumos agrícolas adicionados. Tal fato pode

estar ligado à existência de uma associação entre a mangabeira e micorrizas, hipótese ainda não elucidada de forma clara (Cardoso Filho *et al.*, 2008).

A conservação de *H. speciosa* é urgente e de grande importância, visto que suas áreas de ocorrência vêm sofrendo constantemente com desertificação, queimadas, desmatamento e especulação imobiliária (Silva Júnior *et al.*, 2018). Tais fatores causam a erosão genética da espécie arbórea. Além disso, a mangabeira é alógama, ou seja, sua fecundação é cruzada, as flores são hermafroditas e os gametas de uma mesma árvore são incompatíveis. Para que ocorra a fecundação faz-se necessária a ação de seus polinizadores naturais, a exemplo de mariposas, borboletas e abelhas (Schlindwein *et al.*, 2012).

## 2.6 Compostos Químicos da Mangabeira

As raízes, látex, folhas e casca da mangabeira possuem finalidades medicinais graças aos diversos compostos químicos presentes na espécie. Estudos comprovam que as folhas podem ser utilizadas para tratamento contra diabetes (Pereira *et al.*, 2015) e controle da pressão arterial (Silva *et al.*, 2016). Além disso, o chá pode ser consumido para aliviar cólica intestinal e menstrual. O látex é tradicionalmente utilizado no combate de úlceras e diarreia (Silva Júnior, 2004).

Os compostos bioativos analisados foram descritos em meta-análise por Nunes *et al.* (2022a) que foram mais detectados em folhas de *H. speciosa*. Os compostos L-(+)-Bornesitol, ácido quínico, isoquercetina, lupeol e  $\alpha/\beta$ -amirina foram encontrados apenas em folhas de mangabeira. A rutina, o ácido clorogênico, a catequina e o caroteno foram as substâncias encontradas em mais de um órgão vegetal de mangabeira, são eles: fruto, látex e/ou casca.

No estudo de Santos *et al.* (2021), a rutina foi o composto fenólico encontrado em maior concentração em acessos de mangaba analisados no BAG da Embrapa Tabuleiros Costeiros. O ácido clorogênico e o ácido ferúlico obtiveram as menores concentrações. Outros acessos (CA e TC) mostraram-se as melhores opções para programas de melhoramento e estudos farmacológicos, pois continham maiores níveis dos compostos fenólicos (Santos *et al.*, 2021).

A rutina, classificada como flavonol, é um componente presente em folhas, casca e frutos de *H. speciosa* e destaca-se por seu efeito anticancerígeno, anti-inflamatório e antidiabético (Ghorbani, 2017; Leite *et al.*, 2020; Nikfarjam *et al.*, 2017; Perk *et al.*, 2014).

Conhecer os compostos químicos de uma espécie em potencial é de significativa relevância econômica para indústrias como a farmacêutica, alimentícia e de cosméticos. Este interesse de certa forma auxilia na salvaguarda de espécies em risco como a mangabeira. Para a produção em massa é necessário o plantio e cultivo em grandes áreas, o que impulsiona a pesquisa sobre a espécie, uma vez que um dos desafios que a rodeia é o de transformar a mangabeira em espécie cultivável, com alta porcentagem de sucesso na produção de mudas vigorosas.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. Q. D.; ROCHA, J. R. A. S. D. C.; PESSOA, H. P.; ALVES, F. M.; CHAVES, L. J. Selection of *Hancornia speciosa* germplasm accessions based on the FAI-BLUP index. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021.
- ÁLVARES-CARVALHO, S. V.; VIEIRA, T. R. S.; FREITAS, B. A. L.; SOUZA, E. M. S.; GOMES, L. J.; SILVA-MANN, R. Biodiversity hotspots for conservation of *Hancornia speciosa* Gomes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 6, p. 2179-2189, 2022.
- BOGÉA, É; SANTOS, R. G.; RAMOS, M. V. V.; MENEZES, I. P. P. High diversity and low genetic structure of remnants from *Hancornia speciosa* Gomes in two savanic formations of the cerrado biome in the state park of serra de caldas novas-goiás. **International Journal of Conservation Science**, v. 12, n. 2, p. 599-612, 2021.
- CARDOSO FILHO, J. A.; LEMOS, E. E. P. D.; SANTOS, T. M. C. D.; CAETANO, L. C.; NOGUEIRA, M. A. Mycorrhizal dependency of mangaba tree under increasing phosphorus levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 887-892, 2008.
- COLLEVATTI, R. G.; OLIVATTI, A. M.; TELLES, M. P.; CHAVES, L. J. Gene flow among *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) varieties and hybrid fitness. **Tree Genetics & Genomes**, v. 12, n. 4, p. 1-12, 2016.
- COSTA, C. F.; COLLEVATTI, R. G.; CHAVES, L. J.; SOUZA LIMA, J.; SOARES, T. N.; CAMPOS TELLES, M. P. Genetic diversity and fine-scale genetic structure in *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 72, p. 63-67, 2017.
- COSTA, D. F. D.; VIEIRA, F. D. A.; FAJARDO, C. G.; CHAGAS, K. P. T. D. Diversidade genética e seleção de iniciadores ISSR em uma população natural de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) (Apocynaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 970-976, 2015.
- COSTA, T. S.; SILVA, A. V. C. D.; LÉDO, A. D. S.; SANTOS, A. R. F. D.; SILVA JÚNIOR, J. F. D. Diversidade genética de acessos do banco de germoplasma de mangaba em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 499-507, 2011.
- GHORBANI, A. Mechanisms of antidiabetic effects of flavonoid rutin. **Biomedicine Pharmacotherapy**, v. 96, p. 305–312, 2017.
- GOMES, L. J. **Extrativismo e Comercialização da Fava-D’Anta (*Dimorphandra* sp.): Um Estudo de Caso na Região de Cerrado de Minas Gerais**. 1998. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 1998.
- LEITE, S. P.; ADAMI, T. B.; BJERK, T. R.; REIS SOUZA, M. R.; CARDOSO, C. A.; KRAUSE, L. C.; CARAMÃO, E. B. Ultrasonic assisted extraction of bioactive compounds from different parts of *Hancornia speciosa* Gomes. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 14, n. 7, p. 300–308, 2020.
- LUZ, G. A.; SANTOS, J. A.; OLIVEIRA, K. P.; MARTINS, P. P.; VALENTE, S. E. S.; MAIA, M. C. C.; LIMA, P. S. C. Genetic diversity and population structure of mangabeira (*Hancornia speciosa*) estimated using ISSR markers. **Acta Scientiarum**, v. 42, p. 1-10, 2020.

MUNIZ, A. D. S.; VITÓRIA, M. F.; NASCIMENTO, A. L. S.; LEDO, A. D. S.; MACEDO, L. F. M.; MUNIZ, E. N.; SILVA JUNIOR, J. F. Morphological and physicochemical descriptors for characterization of mangaba tree germplasm. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v. 14, n. 2, 2019.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). National Center for Biotechnology Information. **National Library of Medicine (US)**, Bethesda (MD), 1988. Acesso em: 05 jul. 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>.

NIKFARJAM, B. A.; ADINEH, M.; HAJIALI, F.; NASSIRI-ASL, M. Treatment with rutin – A therapeutic strategy for neutrophil-mediated inflammatory and autoimmune diseases: Anti-inflammatory effects of rutin on neutrophils. **Journal of Pharmacopuncture**, v. 20, p. 52–56, 2017.

NUNES, V. V. **Caracterização e conservação de sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; CALAZANS, C. C. Geno-phenotypic diversity in a natural population of *Hancornia speciosa* Gomes: implications for conservation and improvement. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 68, n. 7, p. 2869-2882, 2021.

NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; CALAZANS, C. C. Pharmaceutical, food potential, and molecular data of *Hancornia speciosa* Gomes: a systematic review. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 2, p. 525-543, 2022a.

NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; LIMA, L. C. D. P.; TORRES, M. F. O.; ÁLVARES-CARVALHO, S. V. Physiological and molecular changes in seeds of *Hancornia speciosa* Gomes stored in conservative solutions. **Journal of Seed Science**, v. 44, p. 1-13, 2022b.

OLIVEIRA, R. J.; SILVA, J. E. C.; CHAGAS, D. B. Morphology of fruits and seeds and germinate and initial development analysis of *Hancornia speciosa*. **Cerne**, Lavras-MG, v. 24, n. 3, p. 269-279, 2018.

PEREIRA, A. C.; PEREIRA, A. B. D.; MOREIRA, C. C. L. *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) as a potential anti-diabetic drug. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 161, p. 30–35, 2015.

PERK, A. A.; SHATYNSKA-MYTSYK, I.; GERÇEK, Y. C.; BOZTAŞ, K.; YAZGAN, M.; FAYYAZ, S.; FAROOQI, A. A. Rutin mediated targeting of signaling machinery in cancer cells. **Cancer Cell International**, v. 14, n. 124, p. 1-5, 2014.

RAMALHO, M. A. P.; PINTO, C. A. B. P.; SANTOS, J. B. **Genética na agropecuária**. 5 ed. Lavras: Editora da UFLA, 2012. 566 p.

SANTOS, P. S.; FREITAS, L. D. S.; MUNIZ, E. N.; SANTANA, J. G. S.; SILVA, A. V. C. D. Phytochemical and antioxidant composition in accessions of the mangaba active germplasm bank. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 228-235, 2021.

SANTOS, V. E. P. **Caracterização da fração repetitiva do genoma de *Hancornia speciosa* Gomes**. 2018. 58 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SANTOS, P. S.; FREITAS, L. S.; SANTANA, J. G. S.; MUNIZ, E. N.; RABBANI, A. R. C.; SILVA, A. V. C. Genetic diversity and the quality of Mangabeira tree fruits (*Hancornia speciosa* Gomes–Apocynaceae), a native species from Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 372-378, 2017.

SCHLINDWEIN, C.; OLIVEIRA, R.; PINTO, E.; JÚNIOR, J. A. D.; FEITOSA, C. **Polinização da mangabeira (*Hancornia speciosa*)**. III Semana dos Polinizadores: palestras e resumos, v. 72, 2012.

SILVA, A. V. C.; AMORIM, J. A. E.; VITÓRIA, M. F. D.; LEDO, A. D. S.; RABBANI, A. R. C. Caracterização de árvores, frutos e diversidade genética em populações naturais de mangaba. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 255-262, 2017.

SILVA, A. V. C.; GOIS, I. B.; SOARES, A. N. R.; LÉDO, A. D. S. Diversity, genetic structure and core collection of mangaba (*Hancornia speciosa*) genebank. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 1-13, 2023.

SILVA, A. V. C.; VITÓRIA, M. F.; AZEVEDO, V. R. R.; SÁ, A. J.; NASCIMENTO, A. L. S.; CARDOSO, M. N.; SOARES, A. N. R.; SILVA JÚNIOR, J. F.; LEDO, A. D. S. Genetic diversity of the mangaba GeneBank using microsatellites. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 1, 2019.

SILVA, G. C.; BRAGA, F. C.; LEMOS, V. S.; CORTES, S. F. Potent antihypertensive effect of *Hancornia speciosa* leaves extract. **Phytomedicine**, v. 23, n. 2, p. 214-219, 2016.

SILVA, T. H. C.; ROCHA, R. F.; JORDÃO, L. R.; TÁRREGA, M. C. V. B. Para além do papel: estudo das unidades de conservação brasileiras. **Interações**, Campo Grande, v. 25, n. 2, 2023.

SILVA JUNIOR, J. F. A cultura da mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, 2004.

SILVA JÚNIOR, J. F.; LEDO, À. S.; MUNIZ, A. V. C. S. *Hancornia speciosa*: mangaba. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. C. (eds) **Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial - Plantas para o Futuro: Região Nordeste**. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. p. 177–192.

SILVA, S. A.; CRUZ, E. M. D. O.; REIS, R. V. D.; FERREIRA, C. F.; PASSOS, A. R. Caracterização morfológica e molecular de genótipos de mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 1093-1100, 2013.

#### 4. ARTIGO 1

### ESTRUTURA GENÉTICA E DINÂMICA POPULACIONAL DE *HANCORNIA SPECIOSA* EM UMA RESERVA EXTRATIVISTA NO NORDESTE BRASILEIRO

#### RESUMO

Para este estudo se investigou a diversidade genética em uma população de mangabeiras (*Hancornia speciosa* Gomes) localizada na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, em Aracaju-SE. O objetivo foi compreender a variabilidade fenotípica e genética dentro dessa área protegida, essencial para a conservação da espécie e a sustentabilidade da Reserva. Foram amostradas 69 matrizes, de um total de 1.305 indivíduos presentes na área. Estes indivíduos foram analisados por meio de medições dendrométricas como circunferência à altura do peito (CAP), diâmetro à altura do peito (DAP), área da copa e altura total. Além disso, a fenologia das matrizes foi registrada, destacando a presença ou ausência de flores e frutos. Amostras de folhas foram coletadas para extração de DNA e posterior análise com marcadores ISSR. Com a análise genética verificou-se alto grau de polimorfismo (100%) entre as matrizes, com 64 locos identificados. A heterozigosidade esperada foi de 0,28 e o índice de Shannon foi de 0,44, indicando uma diversidade genética moderada a alta. Há significativa variabilidade genética e fenotípica, essencial para a adaptação e resiliência da espécie frente a mudanças ambientais e pressões antrópicas. A partir dos dados obtidos, recomenda-se a implementação de um plano de manejo que inclua estratégias de proteção intensificada e restauração ecológica, visando à manutenção da variabilidade genética e ecológica da população de mangabeiras na Reserva. O estudo ressalta a importância de práticas de manejo sustentável e do engajamento da comunidade local na conservação dos recursos naturais, garantindo a sustentabilidade ambiental, social e econômica da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.

**Palavras-chave:** População, Conservação, ISSR, Manejo.

#### ABSTRACT

### GENETIC STRUCTURE AND POPULATION DYNAMICS OF *HANCORNIA SPECIOSA* IN AN EXTRACTIVIST RESERVE IN NORTHEAST BRAZIL

This study investigated the genetic diversity in a population of mangabeira trees (*Hancornia speciosa*) located in the Missionário Uilson de Sá Extractive Reserve in Aracaju-SE. The research aimed to understand the phenotypic and genetic variability within this protected area, which is essential for the species' conservation and the sustainability of the Reserve. 69 matrices were sampled, of a total of 1.305 individuals on the area. These individuals were analyzed using dendrometric measurements such as circumference at breast height (CBH), diameter at breast height (DBH), canopy area, and total height. Additionally, the phenology of the matrices was recorded, highlighting the presence or absence of flowers and fruits, providing a comprehensive view of the species' reproductive cycles. Leaf samples were collected for DNA extraction and subsequent analysis with ISSR markers. The genetic analysis showed a high degree of polymorphism (100%) among the matrices, with 64 loci identified. The expected heterozygosity was 0.28 and the Shannon index was 0.44, indicating moderate to high genetic diversity. There is significant genetic and phenotypic variability, essential for the species' adaptation and resilience in the face of environmental changes and anthropogenic pressures. Based on the data obtained, it is recommended to implement a management plan that includes strategies for intensified protection and ecological restoration, aiming to maintain the genetic and ecological variability of the mangabeira population in the Reserve. The study emphasizes the importance of sustainable management practices and the engagement of the local

community in the conservation of natural resources, ensuring the environmental, social, and economic sustainability of the Missionário Uilson de Sá Extractive Reserve.

**Keywords:** Population, Conservation, ISSR, Management.

#### 4.1. Introdução

Em um país tão biodiverso como o Brasil, a proteção e conservação de áreas naturais é essencial para assegurar o equilíbrio ecológico dos diferentes biomas, além de também garantir o cumprimento de leis relacionadas ao meio ambiente. Dessa forma, há maior capacidade de ampliar o desenvolvimento econômico do país, uma vez que ambientes conservados são capazes de mitigar alguns dos efeitos negativos gerados pela sociedade (Silva, 2018; Metzger *et al.*, 2019).

O estudo da diversidade genética em populações constitui frequente investigação científica (Pádua *et al.*, 2024). Os materiais para estudo podem ser encontrados de diversas formas: em áreas naturais (*in situ*) ou em locais que conservam o indivíduo ou suas partes em ambientes mais controlados (*ex situ*), como BAGs (Bancos Ativos de Germoplasma). Essas pesquisas geralmente abordam aspectos como o sucesso reprodutivo dentro de populações isoladas, a interação genética dentro da espécie e a capacidade dessas populações de trocar material genético via cruzamentos.

Tais estudos são fundamentais para entender a dinâmica populacional e a viabilidade a longo prazo das populações. Isto é essencial para obtenção de parâmetros genéticos, tais como a heterozigosidade, taxa de endogamia e índice de Shannon (Nunes *et al.*, 2021). A partir das informações obtidas é possível observar se há alteração de processos que afetem a diversidade genética (Silva *et al.*, 2014) e se há necessidade de intervenção para garantir a manutenção da biodiversidade de dada população.

Certas áreas naturais, além da importância ambiental, também possuem estreita relação com comunidades tradicionais, que geralmente fazem uso dos recursos disponíveis para subsistência e sustento econômico (Iocca; Fidélis, 2020). Essa relação é tão significativa que algumas dessas comunidades são reconhecidas oficialmente, a exemplo das Catadoras de Mangaba (Sergipe, 2010).

O presente estudo visou avaliar a diversidade genética de *H. speciosa* na Unidade de Conservação classificada como Reserva Extrativista, presente na cidade de Aracaju-SE. A diversidade é crucial para a sustentabilidade da Reserva, pois populações geneticamente diversas têm maior capacidade de se adaptar a mudanças ambientais e antropogênicas.

A presença do efeito de borda pode influenciar a dinâmica populacional e a interação genética, afetando a sobrevivência e reprodução das espécies (Murcia, 1995; Cessa *et al.*, 2024). O conceito de metapopulações, que descreve grupos de populações separadas por espaço, mas interagindo através da migração, é fundamental para entender a persistência da espécie em paisagens fragmentadas (Hanski, 1998; Floriano, 2024).

A sucessão ecológica, o processo pelo qual a estrutura de uma comunidade biológica evolui ao longo do tempo, também pode afetar a variabilidade genética ao alterar as condições ambientais (Connell; Slatyer, 1977; Miranda, 2009). Além disso, a deriva genética e o tamanho efetivo da população são fatores críticos que influenciam a variabilidade genética e a resiliência das populações frente a pressões ambientais (Wright, 1931; Ximenes *et al.*, 2022).

A espécie arbórea *H. speciosa* domina a área da Reserva e é considerada um símbolo do estado de Sergipe, possuindo uma relação direta com a comunidade tradicional de extrativistas. A Reserva é a única área que protege uma quantidade significativa de mangabeiras, tornando o monitoramento populacional imprescindível para a conservação da espécie e a manutenção das práticas tradicionais de uso sustentável dos recursos naturais.

## 4.2. Material e Métodos

### 4.2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, situada no bairro 17 de Março, em Aracaju, Sergipe. Esta Reserva foi oficialmente estabelecida pelo Decreto Municipal nº 6.175, emitido em 2020.

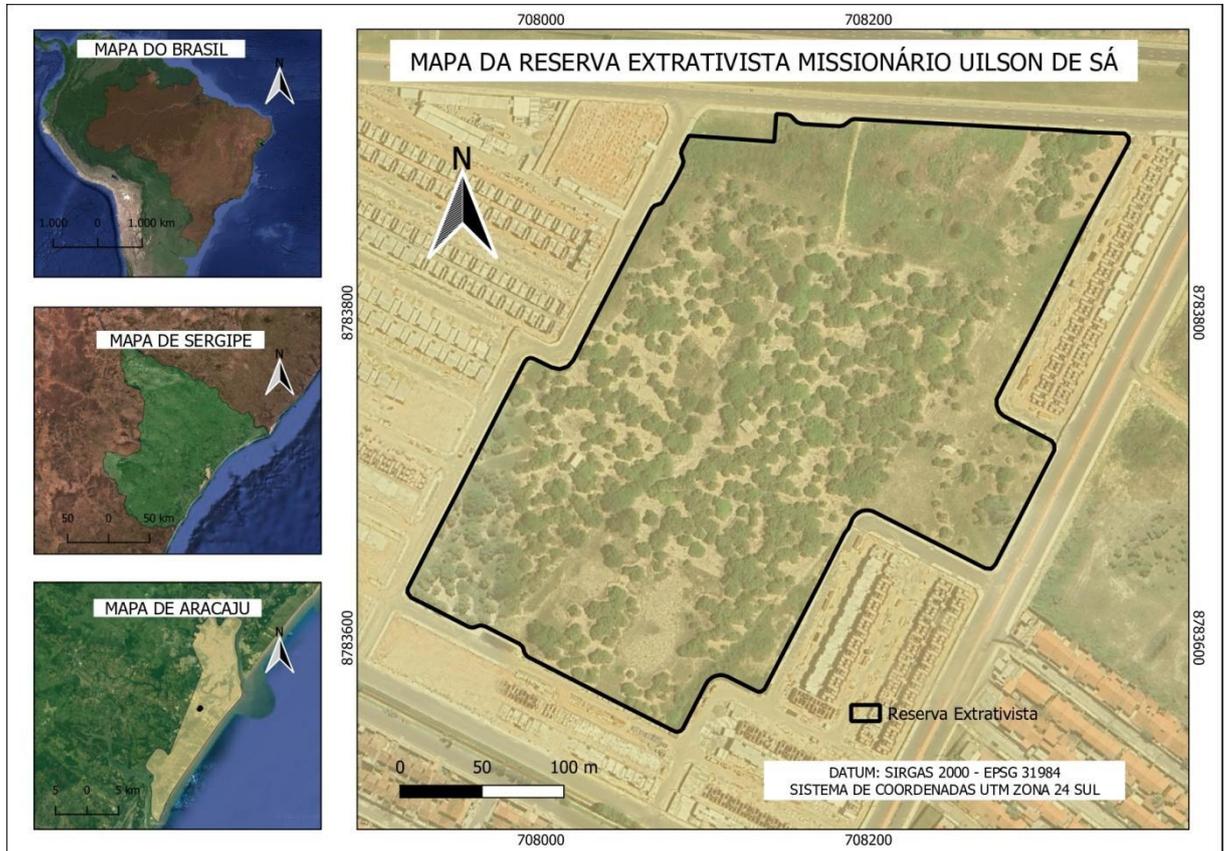
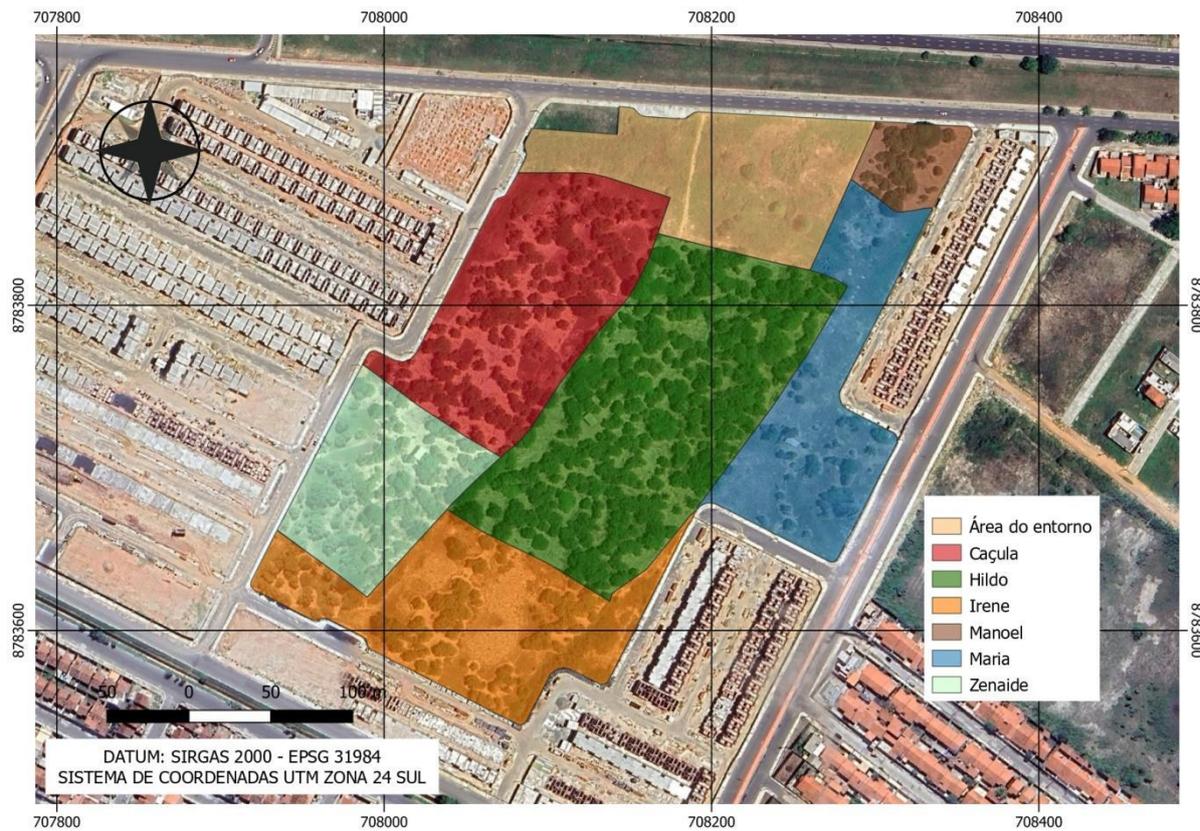


Figura 1 Vista aérea da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá - Aracaju -SE

A Reserva abrange uma área de aproximadamente 92.000 m<sup>2</sup>, estrategicamente dividida em seis lotes gerenciados pela comunidade local de extrativistas.



O local é palco de conflitos entre a comunidade tradicional de catadores de mangaba e interesses político-econômicos sobre a área. Na década de 1950 iniciou-se a migração de famílias provenientes do interior de Sergipe para a chamada Zona de Expansão de Aracaju, ação do governo

Figura 1.. Divisão em lotes da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, Aracaju-SE.

com o intuito de promover a ocupação antrópica dessa área. Tais grupos familiares começaram a trabalhar com a cata da mangaba e outras atividades (pesca, agricultura, artesanato) como fontes de renda (Fonseca, 2022).

Nos dias atuais, essas famílias ainda dependem de tais atividades, mas a urbanização em torno da Reserva vem acelerando drasticamente. Tal realidade afeta negativamente a área verde natural, uma vez que torna-se isolada. Fauna e flora local, com enfoque na mangabeira, sofrem com a pressão antrópica, afetando a reprodução/polinização e gerando perda de diversidade e quantitativo de indivíduos ao longo do tempo.

#### 4.2.2 Caracterização Dendrométrica e Variabilidade Fenotípica

Realizou-se a caracterização dendrométrica de 69 matrizes de *H. speciosa*, escolhidas de forma aleatória e de forma a representar todos os lotes da área, no período de abril a maio e de agosto a outubro. A avaliação dendrométrica incluiu a medição da circunferência à altura do peito (CAP), convertido posteriormente para diâmetro à altura do peito (DAP). O DAP foi medido utilizando uma fita métrica, envolvendo o tronco da árvore a aproximadamente 1,3 m do solo.

Adicionalmente, a área da copa foi estimada através de medições cruzadas da maior e menor distância entre os extremos da copa, utilizando uma fita métrica para garantir precisão. A altura da copa (AC) foi determinada utilizando um hipsômetro, com medições feitas a uma distância de 8 ou 15 m, dependendo da acessibilidade e das condições do terreno.

Variáveis fenológicas, incluindo a presença ou ausência de flores e frutos, também foram registradas para cada matriz no mesmo período.

A

B



Figura 1.3. Fruto da mangabeira (A); Coleta de dados dendrométricos de *Hancornia speciosa* Gomes (B).

#### 4.2.3 Diversidade Genética

Folhas jovens de cada matriz foram coletadas e transportadas em sacos de papel em recipiente com sílica. Para a extração do DNA foram utilizados 2 g de material vegetal macerado em um tampão CTAB [2% CTAB; 100 mM Tris (pH 8.0); 20 mM EDTA (pH 8.0); 1,4 M de NaCl], 1% de PVP (polivinilpirrolidona) e 20 µL de β-mercaptoetanol (Doyle, 1991). As reações de amplificação ocorreram em um volume final de 15 µL [1,5 µL de tampão 10X; 0,6 µL de dNTP; 1,5 µL de MgCl<sub>2</sub> (2,5 mM); 1,8 µL de primers ISSR (2,0 mM); 0,2 µL de Taq DNA polimerase; 2,0 µL de DNA genômico (1:100) e 7,4 µL de água ultrapura]. As reações foram realizadas utilizando-se 8 primers (Tabela 1.1) de ISSR (Inter Simple Sequence Repeat), identificados conforme Nunes (2018), com alterações.

Tabela 1.1. Primers ISSR utilizados no estudo de diversidade genética de matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes.

Primers ISSR	Sequência	Temperatura de anelamento (°C)
UBC 807	(AG)8-T	43
UBC 808	(AG)8-C	47
UBC 809	(AG)8-G	48
UBC 810	(GA)8-T	43
UBC 825	(AC)8-T	47
OMAR	(GAG)4-RC	47
GOOFY	(GT) – YG	48

Os fragmentos amplificados foram separados em um gel de agarose a 1,5% em tampão 1,0X TBE e corados com GelRed® (diluído 1:1000 em H<sub>2</sub>O) em eletroforese horizontal a 100 V por uma hora. Em seguida, os géis foram fotografados sob luz UV em um transiluminador digital (Benchtop®).

#### 4.2.4 Análise dos Dados

As variáveis dendrométricas (Deq, AC e AT) e fenológicas foram analisadas por meio de histogramas. Os dados dendrométricos foram avaliados por meio da similaridade, estimados através do coeficiente de Jaccard com o método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), utilizando o programa R.

Os parâmetros genéticos foram avaliados por Análise de Coordenadas Principais usando o GenAIEx 6.501 (Smouse *et al.*, 2017). Em seguida a dissimilaridade de Gower foi estimada com o pacote MultivariateAnalysis (Azevedo, 2021) do software R (R Core Team, 2020).

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1 Dendrometria

Para a distribuição do diâmetro equivalente (Deq), observou-se que a maioria das matrizes possui um Deq entre 10 e 20 cm, com a maior frequência (25 matrizes) localizada na faixa de 10-15 cm. Frequências menores foram observadas nas faixas de 20-25 cm e 25-30 cm, enquanto valores de Deq superiores a 40 cm são raros, com apenas uma matriz registrada nesta faixa.

Para a área da copa (AC), a maioria das matrizes possui uma área da copa entre 0 e 25 m<sup>2</sup>, com a maior frequência (34 matrizes) nesta faixa. À medida que a área da copa aumenta, a frequência diminui progressivamente, com poucas matrizes apresentando áreas maiores que 100 m<sup>2</sup>.

A altura total (AT) das matrizes está entre 4 e 5 metros, com cerca de 20 matrizes nessa faixa. Houve uma distribuição gradual com menor frequência nas faixas de altura entre 2 e 4 metros e entre 5 e 10 metros, o que pode levar a uma interpretação de estabilização em frequências baixas para alturas acima de 8 metros.

Assim, há variação significativa nas características dendrométricas das matrizes, com a maioria das árvores apresentando diâmetros equivalentes e áreas de copa de tamanhos moderados e alturas totais relativamente distribuídas em faixas intermediárias. Essa variabilidade pode estar relacionada a fatores ecológicos e de manejo da área (Figura 1.4).

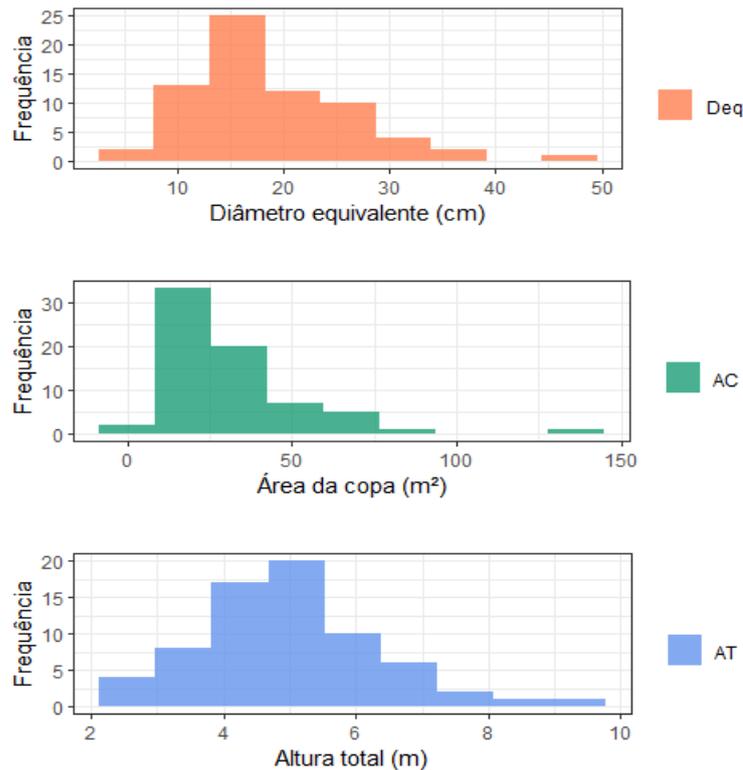


Figura 1.4. Histogramas com dados dendrométricos das matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes.

Para o diâmetro equivalente (Deq) dos indivíduos ocorreu uma distribuição assimétrica, com a maioria dos valores concentrados na faixa de 10 a 20 cm. Há poucos indivíduos com diâmetros superiores a 30 cm, indicando uma predominância de árvores jovens ou de pequeno a médio porte.

Quanto à distribuição da área da copa dos indivíduos, identificou-se um padrão assimétrico com a maioria das árvores possuindo áreas de copa menores que 50 m<sup>2</sup>. Valores extremos de até 150 m<sup>2</sup> são observados, mas em menor frequência, sugerindo a presença de algumas árvores mais desenvolvidas. Para altura total das árvores houve distribuição normal, com a maioria das árvores alcançando alturas entre 4 e 6 m. Poucas árvores ultrapassam os 8 m de altura, o que pode indicar uma fase de crescimento homogênea entre os indivíduos estudados.

A partir do dendrograma de dissimilaridade (Figura 1.5), estimado a partir dos dendrométricos, foi possível estimar a menor distância: 0,08, e maior distância: 9,13 entre as árvores e os indivíduos mais próximos são as árvores 5 e 24 e os mais distantes as árvores 9 e 17. No eixo vertical, estão listadas as árvores individuais identificadas por números. No eixo horizontal, os parâmetros dendrométricos. A intensidade da cor no mapa de calor indica os valores dos parâmetros, com uma escala de cores onde tons de vermelho representam valores altos, tons de azul representam valores baixos, e tons de branco indicam valores intermediários.

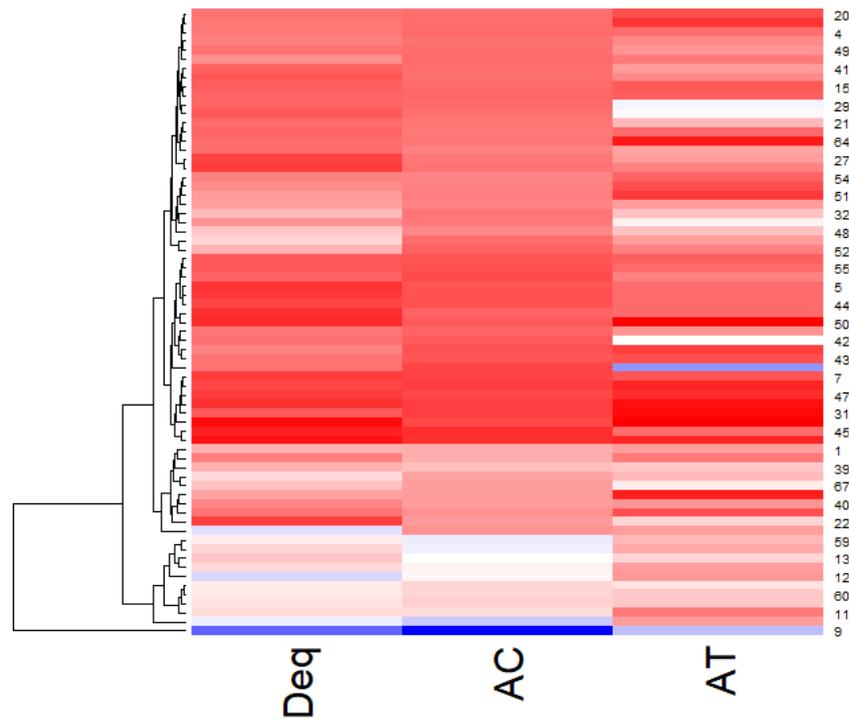


Figura 1.5. Dendrograma da dissimilaridade baseada em dados dendrométricos de indivíduos de *Hancornia speciosa* da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.

A maioria das árvores mostra valores intermediários a altos de diâmetro equivalente, conforme indicado pela predominância de tons vermelhos. Há uma grande variação na área da copa entre as árvores. Enquanto algumas árvores apresentam áreas de copa pequenas (tons azuis), muitas outras possuem áreas de copa grandes (tons vermelhos intensos).

A altura total das árvores também varia, mas a maioria das árvores apresenta alturas intermediárias a altas (tons de vermelho), com algumas árvores apresentando alturas mais baixas (tons de azul).

A variabilidade observada nos parâmetros dendrométricos (Deq, AC e AT) indica uma diversidade significativa dentro da população de mangabeiras. Esta variabilidade é crucial para a adaptabilidade e resiliência da população, permitindo que diferentes indivíduos respondam de maneiras distintas a fatores ambientais e pressões antropogênicas.

O dendrograma associado ao eixo vertical mostra como as árvores são agrupadas com base nas semelhanças dos parâmetros dendrométricos. Há vários subgrupos que refletem diferentes padrões de crescimento e desenvolvimento entre as árvores.

Assim, pelos resultados pode-se observar que a população de mangabeiras apresenta variabilidade em termos de diâmetro equivalente, área da copa e altura total. A predominância de árvores com diâmetros e áreas de copa menores, assim como alturas moderadas, pode refletir características da estrutura etária da população, com uma maior quantidade de árvores em estádios de crescimento inicial ou intermediário.

Essa distribuição de parâmetros dendrométricos é crucial para entender a dinâmica populacional e a capacidade de adaptação e resiliência da espécie frente a pressões ambientais. A presença de algumas árvores mais desenvolvidas sugere que, apesar das condições ambientais possivelmente adversas, algumas plantas conseguem atingir um desenvolvimento significativo, o que pode ser positivo para a conservação da espécie.

No contexto da Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, monitorar e mitigar os efeitos negativos é crucial para manter a saúde ecológica e genética da população de *H. speciosa*. Estratégias de manejo, como a criação de zonas de amortecimento e a promoção da conectividade entre fragmentos, podem ajudar a minimizar os impactos e preservar a biodiversidade e a funcionalidade ecológica da Reserva.

Ao se considerar a conectividade, existem áreas circunvizinhas como a obtida com o Termo de Autorização de Uso (TAU) do terreno cedido pela Superintendência do Patrimônio da União (SPU) para a Reserva Extrativista das Catadoras e Catadores das Mangabeiras. A proteção de áreas naturais próximas também é importante para a conservação da área de interesse principal, uma vez que estão conectadas ecologicamente (Ward *et al.*, 2020).

Na Figura 1.6 se ilustra a variação nas características dendrométricas entre os diferentes lotes de *H. speciosa*. Essas variações podem fornecer importantes informações sobre as condições ecológicas e práticas de manejo em cada lote, ajudando a informar estratégias de conservação e manejo sustentável da espécie na área analisada.

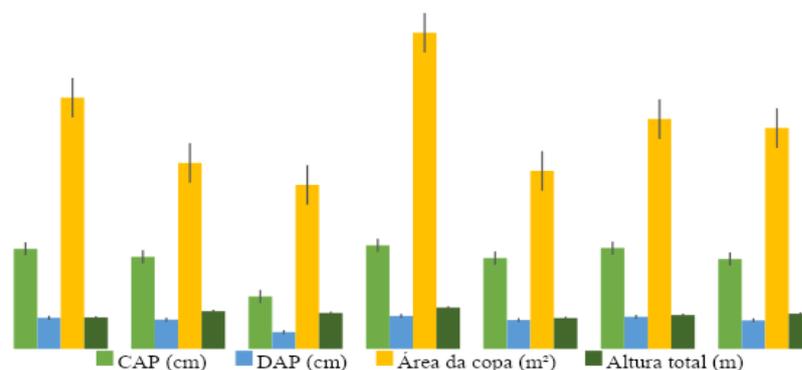


Figura 1.6. Comparação das características dendrométricas entre 6 diferentes lotes de *Hancornia speciosa* Gomes na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.

Para a distribuição de valores médios de CAP, com pequenas variações indicadas pelos erros padrão, observou-se valores relativamente consistentes entre os grupos, sugerindo uma homogeneidade no crescimento em termos de circunferência do tronco. Para o DAP é menor em comparação com os outros parâmetros, indicando que as árvores têm diâmetros relativamente pequenos, como esperado para a espécie.

Quanto à área da copa a variação também é maior, conforme indicado pelos erros padrão mais longos. Isso sugere uma maior diversidade na expansão da copa entre as árvores estudadas; e para altura variação moderada. Os valores são consistentes com o crescimento típico de mangabeiras na região estudada.

Pela análise estatística, não há diferenças estatisticamente significativas nas médias de DAP entre os lotes analisados.

Este resultado sugere que quaisquer diferenças observadas nas medições de DAP entre estes lotes podem ser atribuídas a variações aleatórias, e não a diferenças sistemáticas entre os lotes. Portanto, há homogeneidade entre os lotes em termos de DAP.

A maior variação na área da copa indica diversidade significativa na expansão da copa das árvores, possivelmente devido a fatores como disponibilidade de luz, espaço e nutrientes. Isso pode refletir diferenças microambientais dentro da área estudada ou variações fenotípicas entre os indivíduos. Os valores de altura total mostram uma distribuição moderada, indicando que, embora haja alguma variabilidade, as árvores mantêm uma altura média consistente. Isso pode ser relevante para práticas de manejo que visam manter a estrutura vertical da floresta.

Assim, a população de mangabeiras na Reserva possui uma variabilidade fenotípica significativa, especialmente na expansão da copa, o que pode ser um indicativo de adaptação a diferentes condições microambientais. A homogeneidade nos parâmetros de crescimento do tronco pode ser utilizada para definir práticas de manejo que mantenham essa consistência, enquanto a variabilidade na copa pode ser explorada para maximizar a biodiversidade funcional.

Para o lote 4 observou-se maior valor de CAP, com cerca de 15,31 cm, seguido por lote 6 e lote 1, ambos com valores próximos de 14,9 cm e 14,79 cm, respectivamente. Para o lote 3 houve menor CAP, com 7,75 cm, indicando árvores com troncos mais finos nesse lote.

Quanto ao DAP houve uma tendência similar ao CAP, com o lote 4 apresentando o maior valor de aproximadamente 4,87 cm. Para o lote 3 também se observou o menor DAP, com 2,47 cm, corroborando com os dados do CAP.

Para a área da copa, o lote 4 destacou-se significativamente com a maior área da copa, aproximadamente 46,75 m<sup>2</sup>, indicando uma extensão de copa substancialmente maior em comparação aos outros lotes. Ao se comparar os lotes 3 e 5, ambos apresentaram as menores áreas da copa, com 24,23 m<sup>2</sup> e 26,3 m<sup>2</sup>, respectivamente.

Quanto aos dados de altura, no lote 4 ocorreu maior altura total, com cerca de 6,1 metros, indicando árvores mais altas. Contrariamente, o lote 5 apresentou a menor altura total, com 4,55 metros, seguido de perto pelo lote 1, com 4,64 metros.

Assim, o lote 4 destaca-se em todas as características dendrométricas, sugerindo que as árvores neste lote possuem crescimento mais vigoroso e desenvolvimento mais robusto. O lote 3 consistentemente apresentou os menores valores de CAP, DAP, área da copa e altura total, sugerindo árvores menos desenvolvidas neste lote.

A variabilidade entre lotes pode ser atribuída a diversos fatores ecológicos e de manejo, a exemplo, diferenças na disponibilidade de recursos, microclima e possíveis intervenções humanas. Diferenças de uso do solo, exposição à luz e ventos e histórico de perturbação podem influenciar diretamente no crescimento e desenvolvimento das árvores.

O lote 4, por exemplo, apresentou pouca intervenção humana e uma das maiores áreas, o que pode ter contribuído para o crescimento robusto das mangabeiras. Enquanto o lote 3 possui alto histórico de interferência antrópica, de modo que apresentou as matrizes com menor qualidade de dados dendrométricos. Todos os lotes possuem áreas nas extremidades da Reserva, de modo que o efeito de borda não é fator de influência para estes dados.

Assim, considerando a heterogeneidade local e o fato de que é uma Unidade de Conservação consolidada por lei (Aracaju, 2020), é imprescindível a elaboração do Plano de Manejo. O território deve ser classificado em zonas, definidas a partir das características mais marcantes e respectivas necessidades. Tal zoneamento deve tomar como base os resultados dos estudos que vem sendo desenvolvidos na RESEX. Estratégias como proteção intensificada em áreas de crescimento robusto e restauração ecológica em locais menos desenvolvidos (Edwards *et al.*, 2021), podem ser necessárias para manter ou aumentar a viabilidade genética e ecológica da população de mangabeiras.

#### **4.3.2 Fenologia**

Além dos dados dendrométricos, também foi registrada em campo a presença (1) ou ausência (0) de flores e frutos nas matrizes de mangabeira (Figura 1.7), fazendo-se uso de matriz binária. A avaliação em campo ocorreu no período de abril a maio e de agosto a outubro.

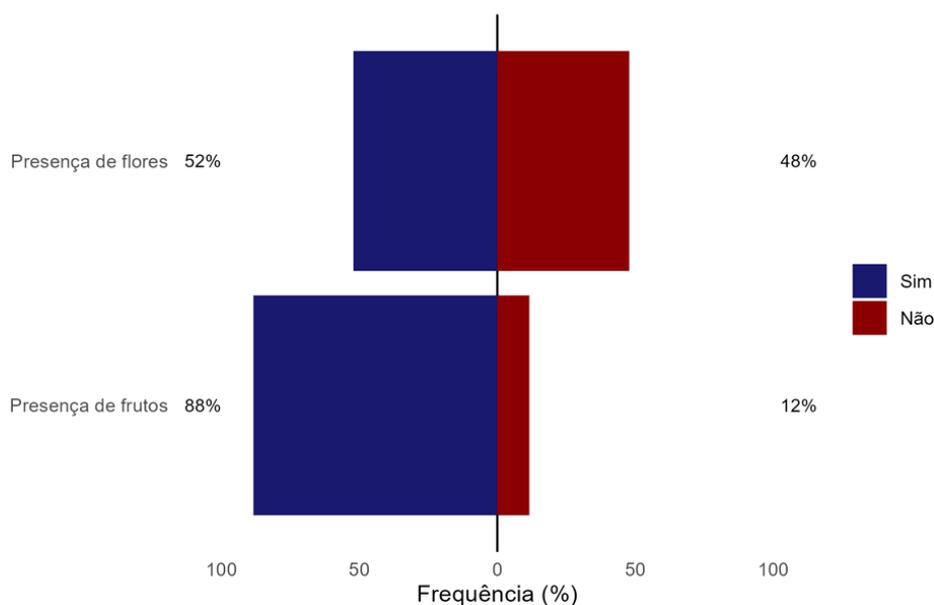


Figura 1.7. Fenologia de flores e frutos nas matrizes de *Hancornia speciosa* na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá.

Quanto à distribuição das flores há frequência equilibrada entre presença (52%) e ausência (48%). Isso indica que aproximadamente metade das árvores na população está florescendo no período analisado. Esse equilíbrio pode ser influenciado por fatores ambientais, genéticos ou fenológicos, e sugere uma variação intrapopulacional na fenologia de floração.

A presença de frutos é significativamente maior, com 88% das árvores apresentando frutos e apenas 12% sem frutos. Este resultado indica que a maioria das árvores na população está frutificando, o que pode ser um indicador de boas condições ambientais para a reprodução ou uma característica genética favorável na população de mangabeiras.

A alta frequência de frutificação é um sinal positivo para a regeneração natural da população, pois sugere uma produção robusta de sementes (Pereira *et al.*, 2024). No entanto, o equilíbrio na floração precisa ser monitorado para entender se há algum fator limitante que impede que mais árvores floresçam. A variação na presença de flores pode ser uma estratégia adaptativa que permite à população lidar com variações ambientais. Entender esses padrões pode ajudar a desenvolver práticas de manejo que suportem a resiliência da população.

Com base nesses resultados, um plano de manejo pode incluir estratégias para proteger árvores em diferentes estádios fenológicos e garantir a manutenção da variabilidade genética e fenotípica. Práticas como a conservação *in situ* e *ex situ* das sementes podem ser exploradas. Além disso, o envolvimento da comunidade local no monitoramento da fenologia e reprodutividade das árvores pode ser uma ferramenta valiosa para a conservação.

Programas educativos sobre a importância da diversidade fenológica podem ajudar a sensibilizar e envolver a comunidade na proteção da Reserva.

Na região Nordeste são identificados 2 períodos de floração e frutificação de *H. speciosa*, podendo sofrer alterações, a depender do local, com a safra de verão (dezembro a abril) e de inverno (maio a julho) (Silva Júnior, 2004). A avaliação em campo ocorreu no período de abril a maio e de agosto a outubro. É provável que a floração estivesse finalizando e dando início à produção de frutos, o que pode justificar a maior frequência de presença de frutos frente às flores.

O monitoramento contínuo das variáveis fenológicas e dendrométricas pode fornecer conhecimento sobre as respostas das mangabeiras a mudanças climáticas e outras pressões

ambientais. Assim a sustentabilidade a longo prazo da Reserva e das comunidades que dela dependem pode se manter sustentável. A preservação do banco de sementes no solo da Reserva Extrativista deve ser sempre mantido e valorizado. A ocorrência de sementes recalitrantes na espécie contribui ainda mais para esta valorização dos bancos de sementes (Maia *et al.*, 2022).

### 4.3.3 Parâmetros Genéticos

A partir da revelação de bandas de DNA através dos 8 marcadores ISSR utilizados, foram escolhidas somente as bandas polimórficas para observação da diversidade genética de matrizes de *H. speciosa* da Reserva Extrativista. A análise revelou um total de 64 locos.

Além disso, foi possível obter os seguintes dados: %P (Porcentagem de locos polimórficos= 100%); N (nº de amostras= 69); Na (nº de alelos observados= 2); Ne (nº de alelos efetivos= 1,45); I (índice de Shannon= 0,44); He (Heterozigosidade esperada= 0,28); uHe (heterozigosidade esperada imparcial=0,28).

A média de alelos observados (2) foi maior que a de alelos efetivos (1,45). Os valores do índice de diversidade de Shannon (0,44) e da heterozigosidade esperada (0,28) foram relevantes.

Em comparação aos dados das 4 localidades analisadas no estudo de Álvares-Carvalho *et al.* (2022), com marcadores ISSR, o nº de alelos observados da Reserva Extrativista foi maior (Na= 1,96; 1,81; 1,77). Quanto ao nº de alelos efetivos, só ficou à frente da localidade São Sebastião (Pirambu) (Ne= 1,42). Em relação à diversidade dentro da espécie, a Reserva Extrativista só demonstrou menor variabilidade frente à Baixa Grande (Pirambu), com I=0,53.

A análise de 29 acessos de mangabeira em banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte com 11 primers ISSR revelou 120 locos polimórficos (Luz *et al.*, 2020). O índice de Shannon (I= 0,39) se mostrou menor se comparado ao do presente estudo. A diversidade genética das populações foi considerada de baixa a moderada.

Para sete populações de *H. speciosa* no Rio Grande do Norte foi identificado I= 0,27. Foram utilizados 105 indivíduos e, com marcadores ISSR, obteve-se 81% de locos polimórficos. Observou-se que os dados indicaram o evento de gargalo genético nas populações (Fajardo *et al.*, 2018).

Com amostras de população natural de mangabeiras em Pirambu-SE, Nunes (2021) obteve 81 locos polimórficos com uso de 17 primers ISSR. A heterozigosidade estimada (He= 0,40) e o índice de Shannon (I= 0,58) foram maiores que os do presente estudo. A diversidade genética foi classificada como alta na população. Assim, pode-se estabelecer estratégias buscando diversidades em outras populações no estado, e introduzindo em áreas rarefeitas na Resex.

Os dados de heterozigosidade esperada em estudo com 6 populações de Sergipe (He= 0,58; 0,57; 0,49), Ceará (He= 0,72; 0,67) e Pernambuco (He= 0,56) foram maiores que os do presente estudo (Amorim *et al.*, 2015).

Os resultados de índice de Shannon corroboram para diversidade genética moderada a alta de *H. speciosa* encontrada na Resex. Em comparação aos outros estudos o resultado da heterozigosidade é preocupante, uma vez que numa escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 0 menor é a diversidade genética. A comparação entre os alelos efetivos e observados expõe que as características fenotípicas das matrizes são influenciadas por fração reduzida de alelos frente ao quantitativo geral.

Com o total de 64 bandas observadas, 61 apareceram com frequência ( $\geq 5\%$ ) nas análises com os 8 primers ISSR. Não foi possível identificar a presença de bandas privadas, ou seja, alelos encontrados apenas na Resex, uma vez que não houve comparação entre duas ou mais populações no estudo.

Na amostragem de 6 populações de *H. speciosa* provenientes de Sergipe (3), Ceará (2) e Pernambuco (1), foram detectados alelos privados para todas (Amorim *et al.*, 2015). Na pesquisa com 6 populações de Sergipe-SE (2), Bahia-BA (1), Alagoas-AL (1), Mato Grosso-

MT (1) e Mato Grosso do Sul-MS (1), observou-se alelos privados para o MT (221), MS (85) e BA (9), fazendo-se uso de SNPs (Nunes, 2021).

Na Figura 1.8 foi possível observar a relação genética entre as matrizes, a partir dos dados moleculares analisados com os 8 primers ISSR.

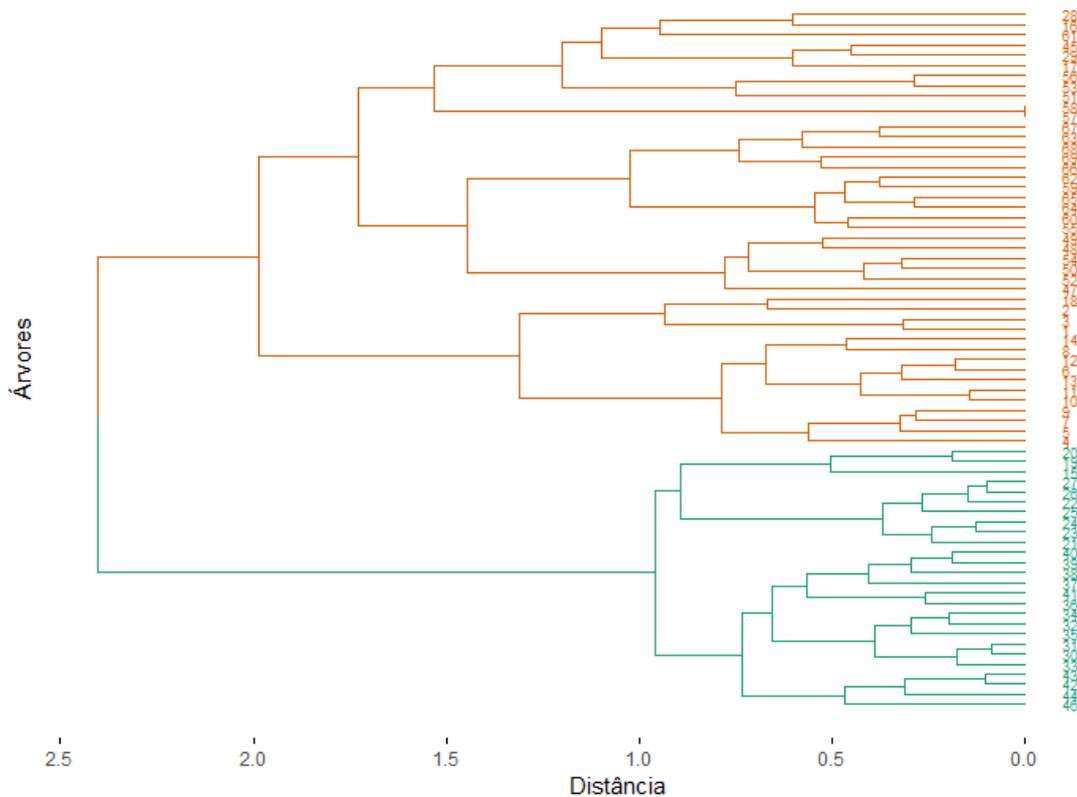


Figura 1.8. Dendrograma de diversidade genética entre indivíduos de *Hancornia speciosa* por meio do coeficiente de Jaccard.

No eixo vertical na Figura 1.8, as árvores individuais são listadas, enquanto o eixo horizontal representa a distância genética entre elas.

No dendrograma tem-se dois grandes grupos principais, indicados por cores diferentes (laranja e verde), sugerindo uma clara divisão genética na população de mangabeiras estudada. Dentro dos dois grupos principais, existem vários subgrupos menores, indicando a presença de subestruturas genéticas adicionais dentro da população. A distância genética entre os grupos e subgrupos é representada pelo comprimento dos ramos no dendrograma. Distâncias maiores indicam maior divergência genética entre as árvores.

A análise do dendrograma revela uma estrutura genética clara dentro da população de mangabeiras na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá. A presença de dois grandes grupos genéticos sugere que pode haver barreiras à dispersão de genes dentro da população, ou que diferentes subpopulações estão sendo influenciadas por fatores ambientais ou genéticos distintos.

Manter a integridade dos diferentes grupos genéticos é essencial para a preservação da variabilidade genética. Estratégias de conservação devem incluir a proteção dos lotes específicos de cada subgrupo. Em iniciativas de restauração, é importante considerar a origem genética das árvores utilizadas. Misturar indivíduos de diferentes subgrupos genéticos pode aumentar a diversidade genética das áreas restauradas (Thomas *et al.*, 2014).

A gestão da população deve considerar a estrutura genética para evitar cruzamentos entre indivíduos similares geneticamente, o que poderia levar à depressão por endogamia. Assim, constata-se a complexidade genética da população de mangabeiras na Reserva,

destacando a importância de estratégias de manejo e conservação que preservem essa diversidade genética.

No dendrograma é perceptível a visualização de dois ramos principais, representados por cores diferentes (verde e laranja). O ramo verde é o mais próximo geneticamente, com distância máxima de 1,0; outra curiosidade é que este possui menos indivíduos (26). O ramo laranja possui distância máxima de 2,0, com maior quantidade de matrizes (43), totalizando os 69 indivíduos analisados.

Em estudo de Jimenez *et al.* (2015) com 38 indivíduos provenientes de populações *in situ* no estado de Pernambuco, observou-se 2 grupos principais. O menor grupo revelou distância máxima de 1,0, enquanto para o segundo grupo, com maior número de indivíduos, foi de 1,5.

Manter a integridade dos diferentes subgrupos identificados é fundamental para preservar a diversidade genética e fenotípica da população. Esforços de conservação devem focar na proteção dos habitats específicos desses subgrupos.

A partir da Análise de Coordenadas Principais (Figura 1.9) caracterizou-se geneticamente a população de mangabeiras da Reserva.

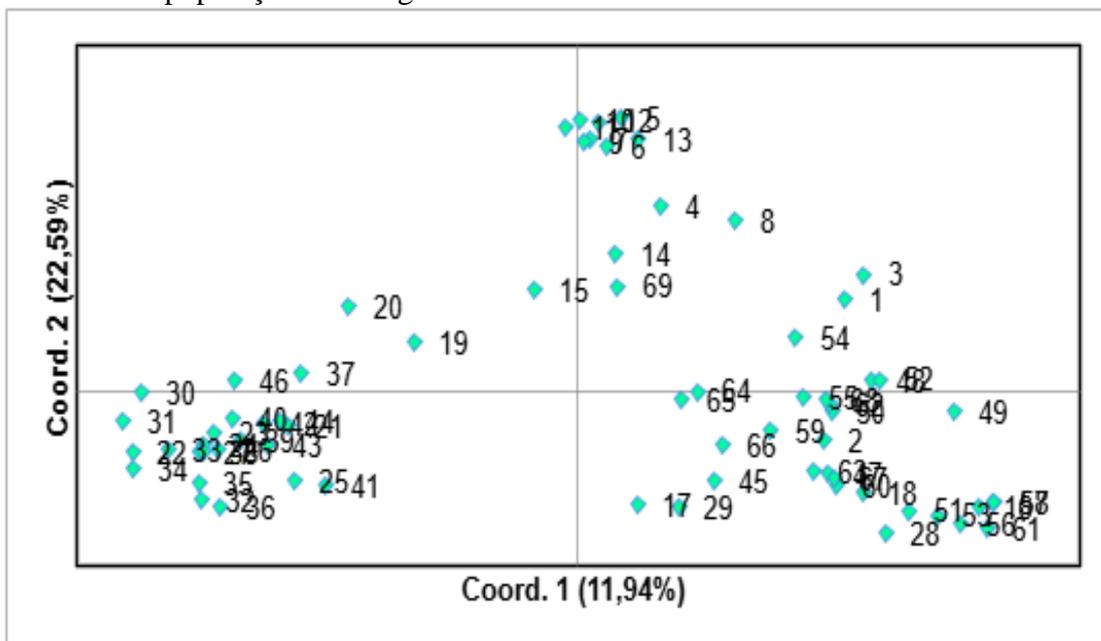


Figura 1.9. Análise de Coordenadas Principais das 69 matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes.

Na Figura 1.9 se apresenta um gráfico de dispersão que ilustra a distribuição de árvores de mangabeira com base em duas coordenadas principais (Coord. 1 e Coord. 2), resultantes de uma análise multivariada. Os eixos representam as duas primeiras componentes principais que explicam a variação nos dados, sendo a Coord. 1 responsável por 11,94% da variação total e a Coord. 2 por 22,59%.

Cada ponto no gráfico representa uma árvore individual, identificada por um número. A dispersão dos pontos no espaço bidimensional reflete a similaridade ou diferença entre os indivíduos em relação às variáveis analisadas.

É possível observar que há 2 grupos genéticos bem formados, além de uma aproximação. Tal informação revela que a população de mangabeiras, dentro e entre os lotes, possui grau de parentesco moderado a alto. Isto é preocupante, pois somado ao crescente isolamento da área, a situação pode evoluir para a perda de habitat, redução dos polinizadores e fauna zoocórica e erosão genética. Os gestores da área natural devem intervir com planos para o aumento e manutenção da diversidade de características genotípicas e fenotípicas da população.

### 4.3.4 Índice de Gower

Com o índice de Gower (1971) é possível observar a análise conjunta dos dados quantitativos e qualitativos para maior eficiência no estudo de diversidade genética das matrizes de *H. speciosa* (Figura 1.10).

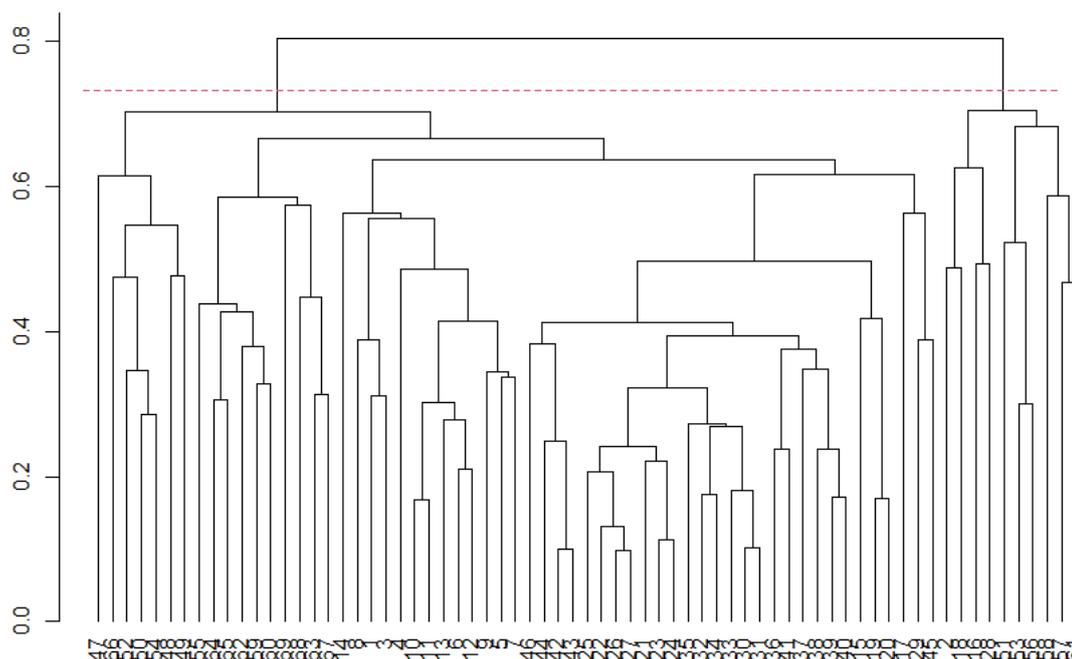


Figura 1.10. Índice de dissimilaridade de Gower para matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes.

O dendrograma baseado no índice de dissimilaridade de Gower fornece uma visão detalhada da variabilidade genética entre as matrizes de *H. speciosa*.

A medida de dissimilaridade utilizada foi de 22, com valor de Gower 2. O coeficiente de variação foi de 23,817. A menor distância de Gower foi de 0,098 (indivíduos 26 e 27) e a maior distância foi de 0,96 (indivíduos 9 e 57), com uma média entre as distâncias de 0,65.

A partir de dados contínuos e discretos, o índice de Gower estima quão similares são os indivíduos. Fazendo-se uso deste índice em estudo com germoplasma de 60 indivíduos de espécies de palmeiras (*Acrocomia aculeata* e *A. totai*) foram identificados 2 grupos principais com dados morfológicos apenas (Silva *et al.*, 2020).

Com a variabilidade genética encontrada na Reserva Extrativista se demonstrou resultados positivos para a conservação da área. A partir da análise se sugere que as intervenções humanas na área podem influenciar a estrutura genética da população, pois os lotes com mais modificações de origem antrópica foram os que apresentaram os resultados dendrométricos mais baixos.

## 4.4. Conclusão

O estudo realizado na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá em Aracaju, SE, evidencia uma rica diversidade genética e fenotípica na população de *Hancornia speciosa* (mangabeira), que é crucial para a adaptação e resiliência da espécie diante de mudanças ambientais e pressões antropogênicas. A investigação destaca a presença de alto polimorfismo e uma moderada a alta diversidade genética, que são essenciais para a manutenção da viabilidade ecológica e genética da espécie dentro da Reserva.

Aponta-se para a necessidade de um plano de manejo cuidadosamente elaborado, que integre estratégias de proteção intensificada e de restauração ecológica. A contribuição deste

trabalho é a caracterização do estado das matrizes por lote, contribuindo para organização de estratégias de recuperação, manutenção e melhoria na qualidade do ambiente.

Essas estratégias são fundamentais para preservar a diversidade dentro da população de mangabeiras e garantir a sustentabilidade ambiental, econômica e social da Reserva. Além disso, o envolvimento ativo da comunidade local nas práticas de manejo sustentável é vital para o sucesso das medidas de conservação, fornecendo um modelo para gestão comunitária de recursos naturais que pode ser replicado em outras reservas extrativistas.

Este estudo também reforça a importância de monitoramento contínuo e avaliação da dinâmica populacional e genética das espécies-chave dentro de reservas extrativistas. Tais práticas não apenas contribuem para o conhecimento científico sobre conservação, mas também aprimoram as políticas de gestão de áreas protegidas, assegurando que as mesmas continuem a servir tanto a seus propósitos ecológicos quanto à sustentabilidade das comunidades que delas dependem. A pesquisa sublinha o papel essencial das áreas protegidas como reservatórios de biodiversidade e como fundamentos para a conservação a longo prazo em contextos de intensa atividade humana e alterações ambientais globais.

#### 4.5. Referências Bibliográficas

ÁLVARES-CARVALHO, S. V.; VIEIRA, T. R. S.; FREITAS, B. A. L.; SOUZA, E. M. S.; GOMES, L. J.; SILVA-MANN, R. Biodiversity hotspots for conservation of *Hancornia speciosa* Gomes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 69, n. 6, p. 2179-2189, 2022.

AMORIM, J. A. E.; MATA, L. R.; LEDO, A. D. S.; AZEVEDO, V. C. R.; MUNIZ, A. D. S. Diversity and genetic structure of mangaba remnants in states of northeastern Brazil. **Genetics and Molecular Research**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 823-833, 2015.

ARACAJU, Prefeitura de. **Decreto nº 6.175, de 02 de julho de 2020**. Dispõe sobre a Criação da Unidade de Conservação na modalidade Reserva Extrativista, e dá providências correlatas. Prefeitura Municipal de Aracaju-SE, 2020.

AZEVEDO, A. M. **Multivariate analysis: pacote para análise multivariada no software R**. 2021.

CESSA, R. M. A.; JUNIOR, I. M. L.; MATIAS, R. A. M. Fragmentation of native vegetation in a watershed. **Revista Agrogeoambiental**, v. 16, e20241828-e20241828, 2024.

CONNELL, J. H.; SLATYER, R. O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, Chicago- US, v. 111, n. 982, p. 1119-1144, 1977.

DOYLE, J. DNA Protocols for Plants. In: HEWITT, G. M.; JOHNSTON, A. W. B.; YOUNG, J. P. W. (Eds.). **Molecular Techniques in Taxonomy**. Springer, Berlin, p. 283-293, 1991.

EDWARDS, D. P.; CERULLO, G. R.; CHOMBA, S.; WORTHINGTON, T. A.; BALMFORD, A. P.; CHAZDON, R. L.; HARRISON, R. D. Upscaling tropical restoration to deliver environmental benefits and socially equitable outcomes. **Current Biology**, [s. l.], v. 31, n. 19, p. 1326-1341, 2021.

FAJARDO, C. G.; COSTA, D. F. D.; CHAGAS, K. P. T. D.; VIEIRA, F. D. A. Genetic diversity in natural populations of *Hancornia speciosa* Gomes: Implications for conservation of genetic resources. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras- MG, v. 42, p. 623-630, 2018.

- FLORIANO, E. P. **Conservação e manejo da fauna silvestre**. 1. ed. Rio Largo, 2024. 206p.
- FONSECA, M. F. B. **O lugar de fala dos catadores(as) de mangaba e a luta pela conservação da última reserva extrativista de Aracaju/SE**. 160 f. 2022. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Rede Nacional para o Ensino das Ciências Ambientais-PROFCIAMB) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.
- GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, Oxford- UK, v. 27, p. 857-874, 1971.
- HANSKI, I. Metapopulation dynamics. **Nature**, [s. l.], v. 396, n. 6706, p. 41-49, 1998.
- IOCCA, L.; FIDÉLIS, T. Comunidades Tradicionais e Unidades de Conservação: Desafios Jurídico-Normativos na Sobreposição de Territórios. Caderno de Estudos em Direito Ecológico Insurgente e Pensamento Decolonial. **Habitus**, Florianópolis- SC, p. 61-92, 2020.
- JIMENEZ, H. J.; MARTINS, L. S. S.; MONTARROYOS, A. V. V.; SILVA JUNIOR, J. F.; MARIN, A. L. A.; FILHO, R. M. M. Genetic diversity of the Neotropical tree *Hancornia speciosa* Gomes in natural populations in Northeastern Brazil. **Genetics and Molecular Research**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 17749-17757, 2015.
- LUZ, G. A.; SANTOS, J. A.; OLIVEIRA, K. P.; MARTINS, P. P.; VALENTE, S. E. S.; MAIA, M. C. C.; LIMA, P. S. C. Genetic diversity and population structure of mangabeira (*Hancornia speciosa*) estimated using ISSR markers. **Acta Scientiarum**, v. 42, p. 1-10, 2020.
- MAIA, A. K. S.; TERTO, J.; OLIVEIRA, I. F. D.; NASCIMENTO, W. F. D.; ALMEIDA, C.; SILVA, E. F. D. Genetic diversity and structure of *Hancornia speciosa* Gomes populations characterized by microsatellites markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa- MG, v. 22, n. 2, p. e38012228, 2022.
- METZGER, J. P.; BUSTAMANTE, M. M.; FERREIRA, J.; FERNANDES, G. W.; LIBRÁN-EMBID, F.; PILLAR, V. D.; PRIST, P. R.; RODRIGUES, R. R.; VIEIRA, I. C. G.; OVERBECK, G. E. Why Brazil needs its legal reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 91-103, 2019.
- MIRANDA, J. C. Sucessão ecológica: conceitos, modelos e perspectivas. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 4, n. 1, 2009.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology & evolution**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.
- NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; CALAZANS, C. C. Geno-phenotypic diversity in a natural population of *Hancornia speciosa* Gomes: implications for conservation and improvement. **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s. l.], v. 68, n. 7, p. 2869-2882, 2021.
- NUNES, V. V. **Caracterização e conservação de sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 81 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

NUNES, V. V. **Estudos genéticos-genômicos em *Hancornia speciosa* Gomes: árvore medicinal e frutífera nativa da América do Sul.** 115 f. 2021. Tese (Doutorado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

PÁDUA, J. G.; ABREU, A. G.; BARBIERI, R. L.; SOUZA, F. V. D.; MEDEIROS, M. B.; BURLE, M. L.; SIMON, M. F.; CAVALLARI, M. M.; CASTRO, C. M.; RAMOS, S. R. R. Conservation of Plant Genetic Resources in Brazil. *In: Sustainable Utilization and Conservation of Plant Genetic Diversity.* **Springer Nature**, Singapore, p. 795-819, 2024.

PEREIRA, A. C. C.; PINHO JÚNIOR, G. V.; NASCIMENTO, A. R. T. Regeneração natural de *Miconia albicans* (SW.), *Triana* e *Dalbergia miscolobium* Benth no interior de povoamentos de *Pinus caribaea* Morelet: Uma contribuição. **Lumen et Virtus**, v. 15, n. 39, p. 3739-3751, 2024.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing.* **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020.

SERGIPE, Governo do Estado de. **Lei nº 7.082, de 16 de dezembro de 2010.** Reconhece as catadoras de mangaba como grupo cultural diferenciado e estabelece o auto-reconhecimento como critério do direito e dá outras providências. Governo do Estado de Sergipe, 2010.

SILVA JÚNIOR, J. F. A cultura da mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal- SP, v. 26, p. 1-192, 2004.

SILVA, P. H.; VIANNA, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; FILHO, J. A. A.; COLOMBO, C. A. Divergência genética entre espécies de Palmeiras *Acrocomia* Mart. baseada em descritores morfoagronômicos. **Energia na agricultura**, São Paulo- SP, v. 35, n. 4, p. 562-577, 2020.

SILVA, R. M. A influência do pensamento econômico na ideia de sustentabilidade e suas implicações para a percepção e conservação do mundo natural. **Desenvolvimento e meio ambiente**, Curitiba- PR, v. 46, p. 334-356, 2018.

SILVA, S. M. M.; SILVA, S. M. M.; MARTINS, K.; MESQUITA, A. G. G.; WADT, L. H. O. Parâmetros genéticos para a conservação de *Hymenaea courbaril* L. na Amazônia sul-ocidental. **Ciência Florestal**, Santa Maria- RS, v. 24, n. 1, p. 87–95, 2014.

SMOUSE, P. E.; BANKS, S. C.; PEAKALL, R. Converting quadratic entropy to diversity: Both animals and alleles are diverse, but some are more diverse than others. **Plos One**, San Francisco- CA, v. 12, 2017.

THOMAS, E.; JALONEN, R.; LOO, J.; BOSHIER, D.; GALLO, L.; CAVERS, S.; BORDÁCS, S.; SMITH, P.; BOZZANO, M. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 66-75, 2014.

WRIGHT, S. Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, Oxford- UK, v. 16, n. 2, p. 97, 1931.

WARD, M.; SAURA, S.; WILLIAMS, B.; RAMÍREZ-DELGADO, J. P.; ARAFEH-DALMAU, N.; ALLAN, J. R.; VENTER, O.; DUBOIS, G.; WATSON, J. E. Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land. **Nature communications**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 4563, 2020.

XIMENES, M. F. F. M.; MARCONDES, C. B.; SILVA, M. M. M.; ARAUJO, M. F. F.; OLIVEIRA, C. Atlantic Forest and Caatinga: Two Threatened Tropical Biomes in Brazil and Repercussions for Public Health. **Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences**, v. 3, n. 5, p. 641-659, 2022.

## 5. ARTIGO 2

### USO DE BIOINSUMOS EM SEMENTES DE *HANCORNIA SPECIOSA* GOMES VISANDO A PRODUÇÃO DE MUDAS EM AMBIENTE RESTAURATIVO

#### RESUMO

No estudo se investigou a eficácia dos tratamentos de biopriming com *Trichoderma* e hidropriming na melhoria da germinação e crescimento de plântulas de *Hancornia speciosa*, uma espécie crucial para a restauração de ecossistemas degradados em áreas de restinga. Realizado em duas fases principais, laboratorial e de viveiro, o estudo iniciou com a coleta e preparação de sementes seguida de tratamentos de priming em condições controladas de laboratório. As sementes tratadas foram avaliadas por germinação e desenvolvimento inicial, enquanto as plântulas foram posteriormente cultivadas em viveiro e avaliadas por crescimento e qualidade usando o Índice de Qualidade de Dickson. O biopriming com *Trichoderma* proporcionou um crescimento mais uniforme e consistente comparado ao hidropriming. Concluiu-se que o biopriming é uma abordagem sustentável e eficaz para a produção de mudas, oferecendo uma alternativa viável aos insumos químicos e apoiando a biodiversidade e as comunidades locais dependentes desses ecossistemas, alinhando-se com práticas de agricultura sustentável e conservação ambiental.

**Palavras-chaves:** Mangaba, Biopriming, Germinação, Restauração ecológica, *Trichoderma*.

#### ABSTRACT

### USE OF BIOINPUTS IN *Hancornia speciosa* Gomes SEEDS AIMED AT SEEDLING PRODUCTION IN A RESTORATION ENVIRONMENT

The study examined the effectiveness of biopriming with *Trichoderma* and hydropriming in enhancing germination and seedling growth of *Hancornia speciosa*, a species crucial for the restoration of degraded ecosystems in mangrove areas. Conducted in two main phases, laboratory and nursery, the study began with the collection and preparation of seeds followed by priming treatments under controlled laboratory conditions. Treated seeds were assessed for germination and initial development, while seedlings were subsequently grown in the nursery and evaluated for growth and quality using the Dickson Quality Index. Results showed that biopriming with *Trichoderma* provided more uniform and consistent growth compared to hydropriming, which, despite achieving greater heights, showed greater variability. It was concluded that biopriming is a sustainable and effective approach to seedling production, offering a viable alternative to chemical inputs and supporting biodiversity and local communities dependent on these ecosystems, aligning with sustainable agricultural practices and environmental conservation.

**Keywords:** Mangaba, Biopriming, Germination, Ecological Restoration, *Trichoderma*.

#### 5.1. Introdução

A restauração de ecossistemas degradados é uma das principais preocupações ambientais na atualidade, especialmente em regiões tropicais ricas em biodiversidade, como as áreas de mangabeiras. Estas áreas são vitais para a sustentabilidade ecológica e para o sustento de comunidades locais que dependem de seus recursos naturais (Oliveira; Landim, 2016). Neste contexto, a definição de protocolos eficientes para a produção de mudas utilizando bioinsumos

surge como uma estratégia promissora para acelerar e otimizar a recuperação desses ecossistemas.

Bioinsumos, como fungos benéficos, têm se mostrado eficazes em promover o crescimento de plantas, melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a resistência a doenças e estresses abióticos (Brasil, 2020). No caso das mangabeiras (*Hancornia speciosa*), que são de grande importância ecológica e bioeconômica, o uso de bioinsumos pode contribuir significativamente para a eficiência dos programas de restauração. As mangabeiras são conhecidas por seus frutos nutritivos e por desempenharem um papel crucial na manutenção da fauna e flora locais, além de serem uma fonte de renda para muitas famílias em regiões do Nordeste brasileiro (Silva Júnior, 2004; Nunes *et al.*, 2021).

A deterioração das áreas de mangabeira, frequentemente resultado de práticas agrícolas insustentáveis e expansão urbana, demanda ações urgentes para sua restauração (Fajardo *et al.*, 2018). A produção de mudas robustas e adaptadas é fundamental para o sucesso dessas ações (Lima *et al.*, 2020). Os bioinsumos podem ser uma alternativa mais sustentável e menos agressiva ao ambiente em comparação aos insumos químicos tradicionais, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos, minerais e pesticidas, o que é alinhado com práticas de agricultura sustentável e conservação ambiental.

Portanto, o desenvolvimento de protocolos que integrem o uso de bioinsumos na produção de mudas de *H. speciosa* não apenas impulsiona a recuperação de áreas degradadas, mas também promove a biodiversidade e apoia as comunidades locais que dependem desses ecossistemas para sobreviver.

## 5.2. Material e métodos

### 5.2.1 Experimento 01: Laboratório

Os frutos de mangaba foram adquiridos na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, localizada em Aracaju-SE, e transportados ao Laboratório de Ensino e Tecnologia de Sementes (LENTES) da UFS.

Na sequência, os frutos passaram por um processo de beneficiamento, que incluiu o despulpamento manual utilizando peneira e água corrente para separar as sementes. Após o beneficiamento, as sementes foram sanitizadas rapidamente, sendo imersas em água sanitária por 1 minuto.



Figura 2.1. Matrizes de *Hancornia speciosa* Gomes na Reserva Extrativista (A); Beneficiamento dos frutos da mangabeira (B); Sementes de mangabeira (C).

### 5.2.1.1 Tratamento das Sementes

Após o despoldamento e a sanitização, as sementes foram submetidas a tratamentos específicos, hidropriming (com água destilada) e biopriming à base de *Trichoderma* sp. na proporção de 100 ml + 400 ml de água. Para tal, as sementes foram cuidadosamente colocadas em sacos de filó, dispostos em recipientes de vidro (2 L) e submetidas ao priming por diferentes intervalos de tempo (2, 4 e 6 horas).

Foram utilizados sete tratamentos, que se caracterizam pelos três intervalos de tempo e as duas condições de priming, mais um da testemunha, a qual foi composta por sementes não tratadas. Para fornecer aeração adequada durante o processo, os sacos foram mantidos em um sistema de aeração contínua com o uso de mini compressor Boyu S-510 4 L.

Finalizado o tratamento, as sementes foram postas para germinar e avaliada a germinação (G), índice de Velocidade de Germinação (IVG) e as plântulas analisadas por análise de imagem com auxílio do GroundEye®.

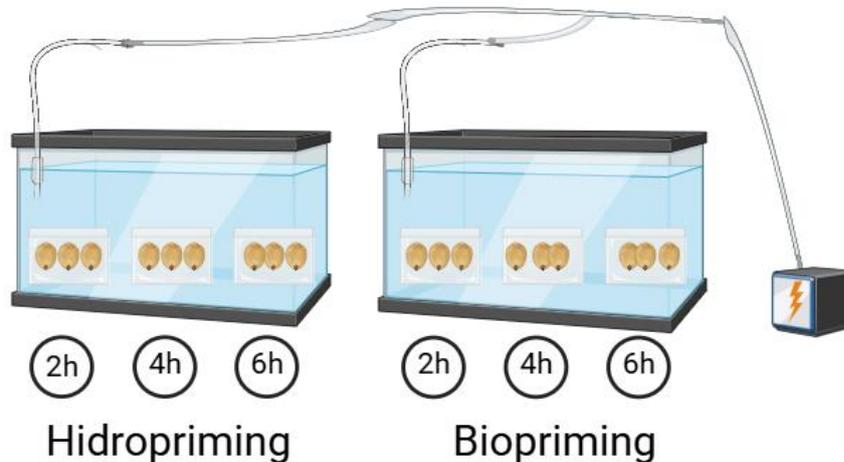


Figura 2.2. Tratamento pré-germinativo em sementes de *Hancornia speciosa* Gomes.

### 5.2.1.2 Germinação e Índice de Velocidade de Germinação

Quatro repetições de 25 sementes de cada tratamento foram organizadas em papel Germitest umedecidos com volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos de germinação correspondentes foram preparados e colocados em um germinador mantido a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas luz.

As avaliações de germinação foram realizadas a cada três dias, totalizando 30 dias de observação após uma semana da montagem dos testes. Durante esse período, foram coletados dados para calcular a porcentagem de germinação (%G) e o Índice de Velocidade de Germinação (IVG). Esses índices foram determinados com base nas seguintes fórmulas:

$$\%G = (N/A) \cdot 100$$

Sendo: N= número de sementes germinadas; A= número total de sementes colocadas para germinar.

$$IVG = G1/N1 + G2/N2 + \dots Gn/Nn$$

Sendo: G1, G2, Gn= número de sementes germinadas computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem; N1, N2, Nn= número de dias da semeadura à primeira, à segunda e à última contagem.



Figura 2.3. Testes de germinação com sementes de *Hancornia speciosa* Gomes.

#### 5.2.1.3 Análise de Imagem

Após concluído o teste de germinação, 15 plântulas normais por repetição de cada tratamento foram selecionadas aleatoriamente e submetidas à análise de imagem no equipamento GroundEye® Série L. Por meio das imagens obtidas foram avaliadas as características geométricas das plântulas: Área (A) e Perímetro (P); e características relacionadas à germinação: Tamanho da parte aérea (TPA), Tamanho da Raiz Primária (TRP), Tamanho das Raízes Secundárias (TRS), Número de ramificações de raízes (NR), Tamanho Total (TT) e Razão do Tamanho da Raiz Primária pela Parte Aérea (RTRPA).

#### 5.2.2 Experimento 02: Viveiro Florestal

As plântulas obtidas nos testes de germinação de cada tratamento foram transferidas para sacos de polietileno contendo substrato de areia preta, areia lavada e esterco bovino na proporção de 3:1:1, respectivamente. Foram avaliadas quanto à altura (ALT) e diâmetro do colo (DIAM) a cada 30 dias por um total de 120 dias.



Figura 2.4. Avaliação de mudas de *Hancornia speciosa* Gomes em viveiro florestal do Departamento de Ciências Florestais (UFS-São Cristóvão) após tratamentos pré-germinativos.

Finalizada esta etapa, cinco mudas de cada tratamento foram selecionadas aleatoriamente para aplicação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Dickson; Leaf; Hosner, 1960), que é uma análise destrutiva.

Desta forma, a parte aérea e raiz de cada planta foram separadas e pesadas em balança analítica para obtenção do peso fresco. As partes vegetais foram armazenadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa de circulação de ar a 70 °C por 24h. Por fim, a massa seca de cada planta (MSP), parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) foram obtidas e a seguir usadas para obtenção do Índice de Qualidade de Dickson:

$$IQD = MSP (g) / [AP (cm) / DC (mm)] + [MSPA (g) / MSR (g)]$$

### 5.2.2.1 Análise dos Dados

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade de variâncias (teste de Bartlett), em seguida foi realizada a análise de variância. Os dados do Experimento 01 foram submetidos à análise de variância (ANAVA), nas variáveis que apresentaram diferenças em relação à testemunha foram realizados o teste de Tukey e regressão linear. Ao final, os tratamentos de hidropriming e de bioprimer foram comparados com a testemunha pelo teste de Dunnett. Dados provenientes do Experimento 02 foram submetidos à análise descritiva, quando não atenderam aos pressupostos da ANAVA.

Para avaliação da contribuição de cada variável na variância foi realizada Análise de Componentes Principais. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R v. 4.0.2 (R Core Team, 2020).

## 5.3. Resultados

Na Figura 2.5 se apresentam histogramas das distribuições de variáveis, ilustrando a frequência de dados em intervalos específicos para cada variável, o que facilita a análise visual das distribuições e tendências centrais.

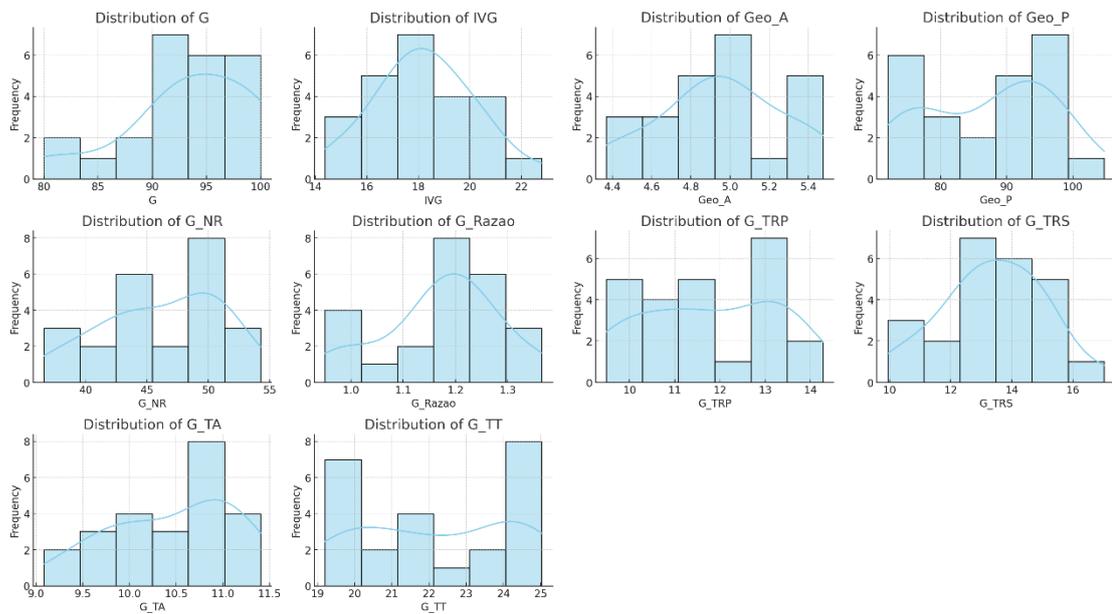


Figura 2.5. Distribuição das variáveis de crescimento e resposta em tratamentos de laboratório com sementes tratadas de *Hancornia speciosa*. G= germinação; IVG = Índice de Velocidade de Germinação; Geo\_A = área da plântula; Geo\_P = perímetro; G\_NR = número de ramificações de plântulas; G\_razão = razão razão-hipocótilo; G\_TRP = tamanho da raiz primária; G\_TRS = tamanho da raiz secundária; G\_TA = tamanho da parte aérea; G\_TT = tamanho total.

Os histogramas indicam que as variáveis "Geo\_A", "Geo\_P" e "G\_TRS" possuem distribuição normal, enquanto as outras não. Na Figura 2.6 compara-se o crescimento em altura de plântulas de *H. speciosa* tratadas por biopríming, hidropríming e controle, em quatro períodos (30, 60, 90 e 120 dias), cada um representado por uma cor específica.

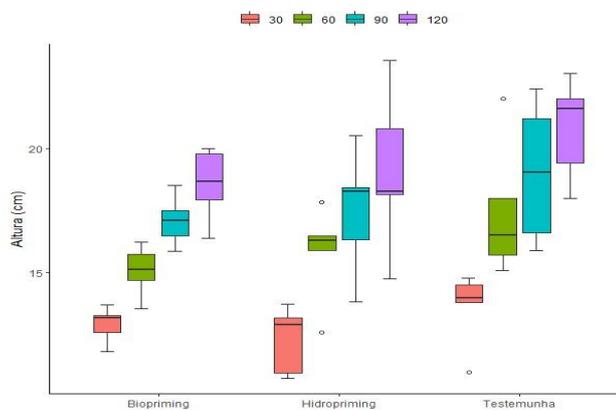


Figura 2.6. Efeito de biopríming, hidropríming e controle na altura de plântulas de *Hancornia speciosa* ao longo do tempo.

Ao se comparar a altura de plântulas submetidas à biopríming, hidropríming e controle em quatro períodos (30, 60, 90 e 120 dias), observou-se que pelos desvios padrão houve maior variabilidade no hidropríming, especialmente após 90 dias, em contraste com o biopríming com menor variabilidade, sugerindo um crescimento uniforme. A testemunha exibiu alta variabilidade.

A uniformidade no crescimento das plântulas é crucial na produção de mudas, influenciando na definição na cronologia de transplante e época de maior disponibilidade das chuvas. O biopríming mostrou-se potencialmente superior para atingir uniformidade, mas a

escolha do método deve considerar também a saúde das plântulas e os custos associados (Zulueta-Rodríguez *et al.*, 2015).

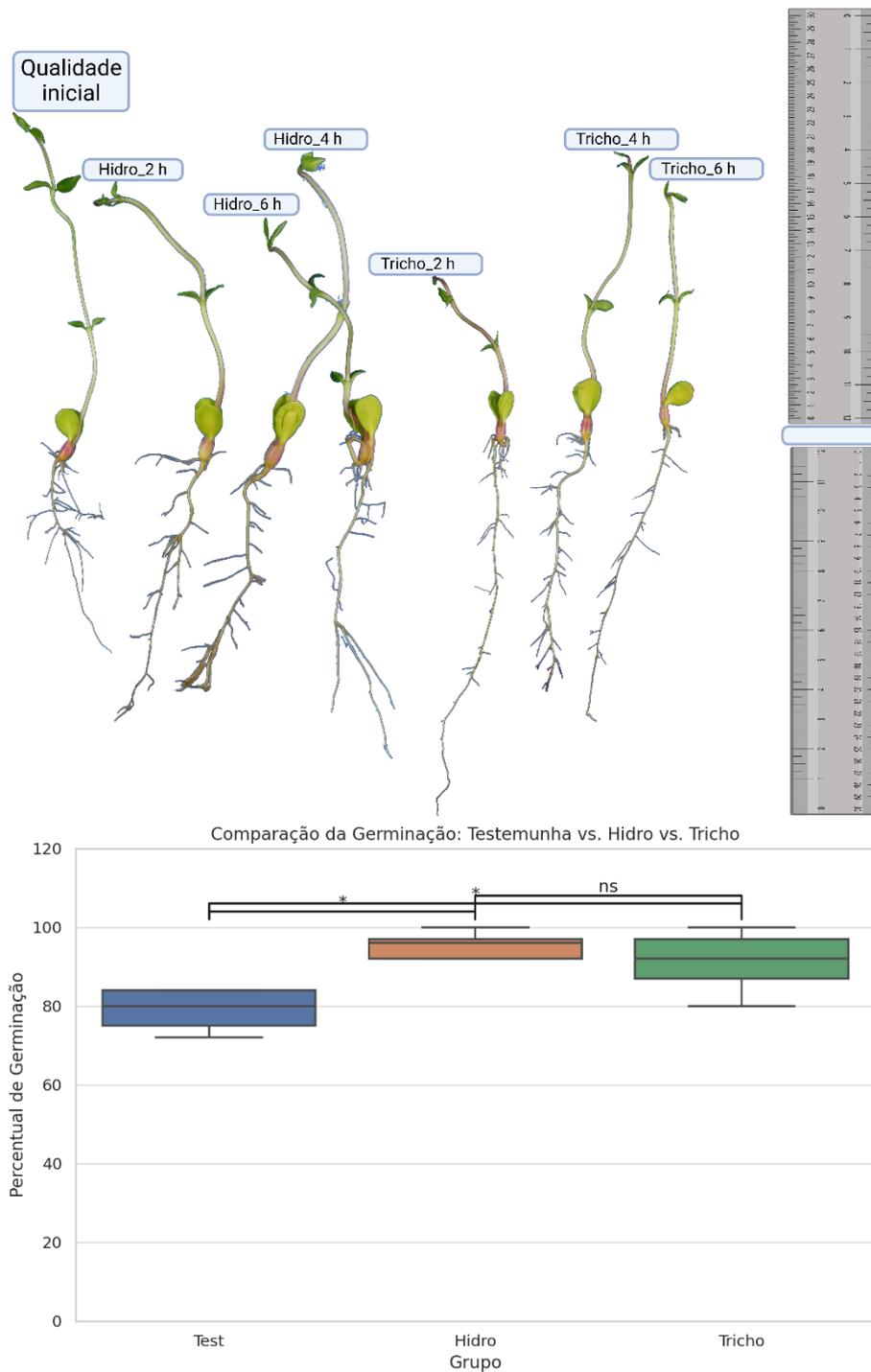


Figura 2.7. Análise de imagens de plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes. T1 – hidropriming (2, 4 e 6h) e T2 – bioprining (2,4 e 6h).; e gráfico com comparação múltipla pelo teste de Dunnett.

Os tratamentos de bioprining e hidropriming promoveram um crescimento efetivo das plântulas de *H. speciosa*, sendo o bioprining mais consistente em termos de uniformidade e o hidropriming alcançando alturas maiores, apesar de maior variabilidade. O controle teve um crescimento limitado, indicando a eficácia dos tratamentos de priming. A análise da performance germinativa revela que a germinação foi uniforme nos tratamentos de

hidropriming e com *Trichoderma* nos primeiros períodos (2 e 4 horas), com baixa variabilidade. Em contraste, a testemunha apresentou maior variabilidade na germinação, enfatizando a importância do priming para uniformizar o desenvolvimento na germinação e de mudas. Lutts *et al.* (2016) destacam que o priming melhora a taxa e uniformidade da germinação ao ativar processos metabólicos pré-germinativos, resultando em germinação mais sincronizada.

Na Figura 2.8 tem-se a comparação das taxas de germinação sob diferentes tratamentos. Os tratamentos "Hidro\_2", "Hidro\_4", "Hidro\_6", "Tricho\_2", "Tricho\_4" e "Tricho\_6" apresentaram taxas altas e consistentes de germinação, entre 93% e 97%. Em contraste, o tratamento "Testemunha" teve taxas significativamente mais baixas, de 79% a 84%, demonstrando sua inferioridade.

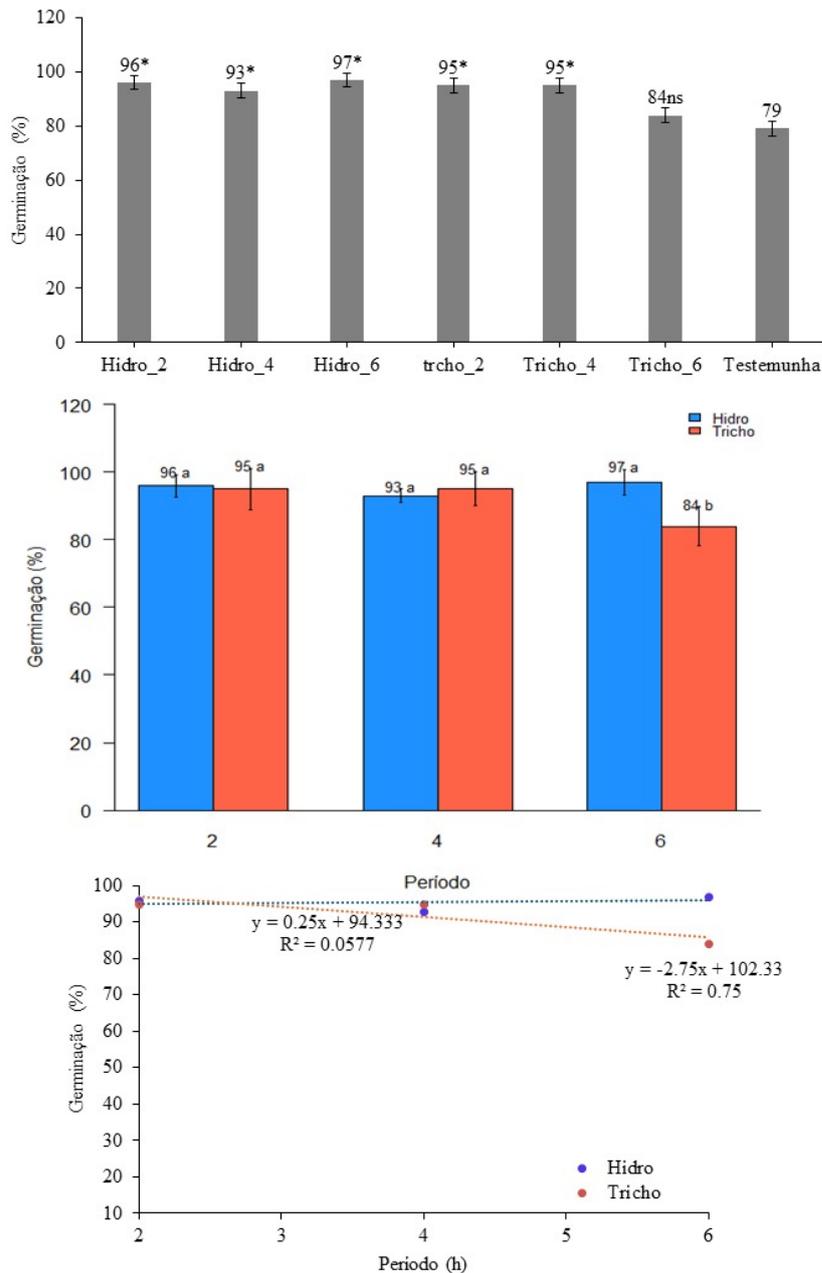


Figura 2.8. Comparação da germinação de sementes de *Hancornia speciosa* Gomes sob diferentes tratamentos e tempos.

Para as sementes tratadas com *Trichoderma* sp. "Tricho" por 6 horas, observou-se uma queda na taxa de germinação para 84%, indicando uma diminuição na eficácia com o aumento do tempo de tratamento. A análise linear mostra que, enquanto o tratamento "Hidro" mantém uma germinação quase constante ( $R^2 = 0.0577$ ), indicando que o tempo de tratamento não

influencia significativamente, o "Tricho" apresenta uma forte correlação negativa ( $R^2 = 0.75$ ), evidenciando uma redução da germinação com o prolongamento do tratamento. Isso sugere que o tratamento "Hidro" é mais estável, enquanto o "Tricho" pode necessitar de ajustes na duração para otimizar os resultados. A variabilidade no tratamento "Testemunha" destaca a importância de controles adequados e de explorar as condições de germinação sem tratamentos adicionais.

A análise dos tratamentos para variações na área foliar, perímetro e número de ramificações de plantas em diferentes intervalos de tempo (0h, 2h, 4h e 6h), apresenta-se na Figura 2.9.

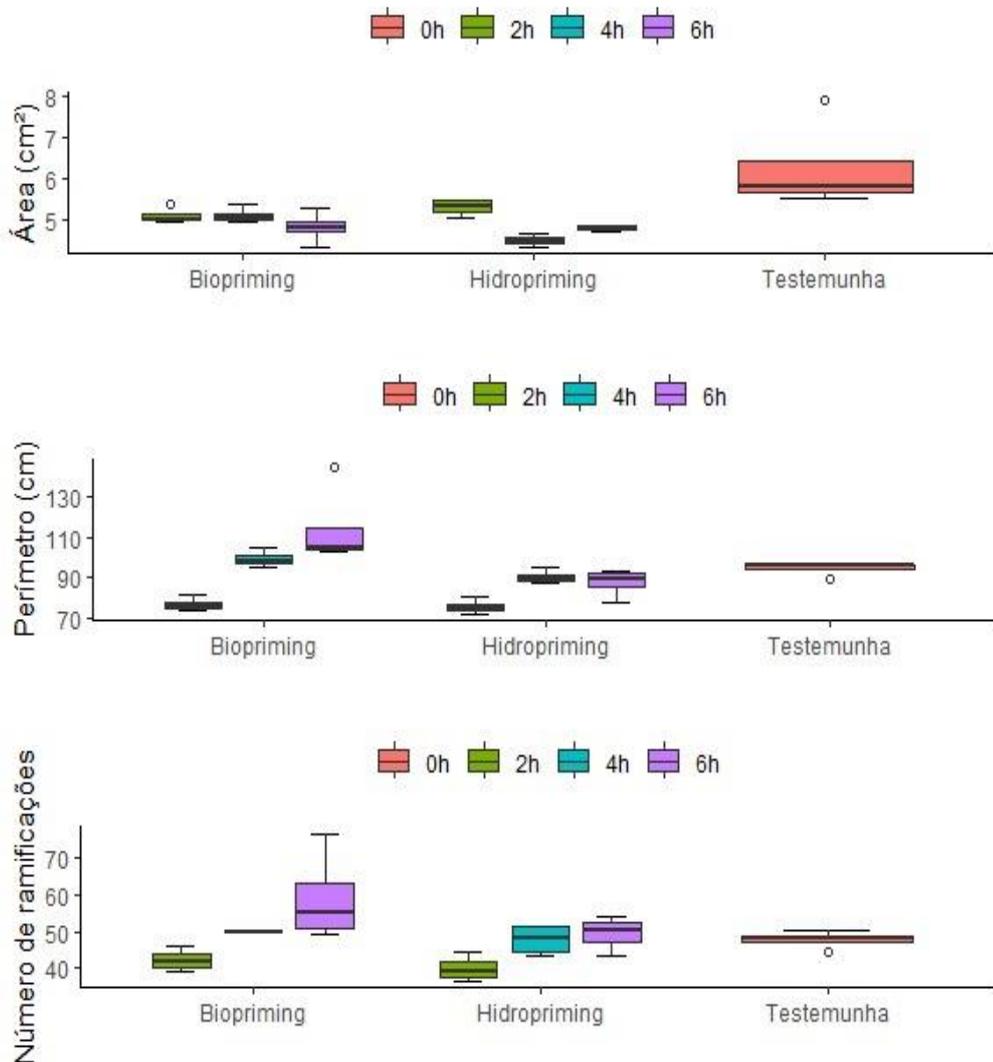


Figura 2.9. Efeito de diferentes métodos pré-germinativos na área foliar, perímetro e número de ramificações em plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes.

A análise da área foliar média revelou poucas variações entre os tratamentos de biopriming e hidropriming, com um leve aumento na variabilidade ao longo do tempo, mas mantendo valores baixos. Em contraste, o tratamento testemunha mostrou uma variação significativa, especialmente nas 6 horas, indicando uma resposta menos consistente em comparação aos tratamentos de priming.

Ceritoğlu *et al.* (2024) avaliaram o efeito do biopriming com bactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPB) comparado ao uso de fertilizantes sintéticos e inoculação com rizóbio em condições ecológicas de Siirt. Os resultados mostraram que doses mais altas de fertilizantes sintéticos e consórcios de PGPB ofereceram os melhores resultados agrônômicos,

aumentando o rendimento de grãos, tornando o biopriming uma estratégia sustentável e custo-efetiva, especialmente na produção de feijão-caupi.

O perímetro das plantas manteve-se estável entre os tratamentos de biopriming e hidropriming, sem diferenças significativas em relação ao controle, que apresentou maior dispersão de dados. Por outro lado, o número de ramificações aumentou nos tratamentos de priming, especialmente com hidropriming, sugerindo que esse método pode favorecer uma maior ramificação das plântulas. A variabilidade elevada no controle indica a eficácia do priming em proporcionar um desenvolvimento mais uniforme e previsível das mudas. Esses achados são importantes para a aplicação de técnicas de priming visando otimizar o crescimento das plântulas em viveiros.

Ao se considerar o crescimento radicular e o tamanho da raiz primária em plantas tratadas com os dois métodos, houve variação expressiva para o biopriming (Figura 2.10).

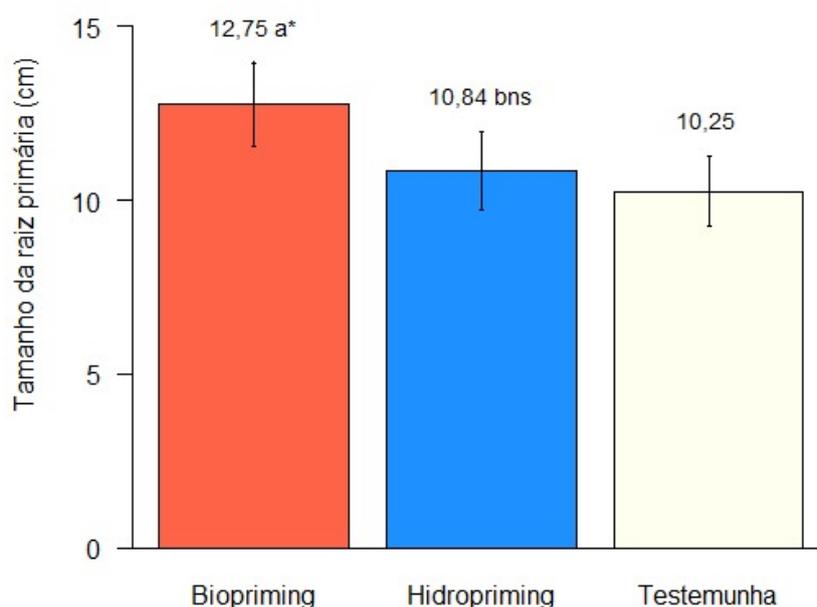


Figura 2.10. Influência de tratamentos pré-germinativos no tamanho da raiz primária em plantas de *Hancornia speciosa* Gomes.

Para o tratamento de biopriming as plântulas apresentaram o tamanho médio maior da raiz primária, com 12,75 cm, marcado como estatisticamente significativo (a\*), indicando uma melhoria significativa em comparação aos outros tratamentos. Para o tratamento de hidropriming observou-se tamanho médio de raiz de 10,84 cm ('b\_ns'), que não diferiu da testemunha (10,25 cm).

Assim, pode-se indicar o biopriming como o mais eficaz em estimular o crescimento da raiz primária em plantas em comparação com o hidropriming e testemunha. O maior tamanho de raiz observado no tratamento de biopriming pode ser atribuído às interações biológicas estimuladas pelo método, que podem melhorar a absorção de nutrientes e a resistência ao estresse.

Estudos com o uso de biopriming em sementes comprovaram o desenvolvimento da raiz primária das plantas. Os tratamentos podem incluir métodos como hidropriming, que utiliza água para ativar processos metabólicos antes da germinação, ou biopriming, onde as sementes são tratadas com microrganismos benéficos (Wani *et al.*, 2023).

A observação de que os resultados de hidropriming e do grupo controle são similares indica que o hidropriming pode não afetar o crescimento da raiz primária nas condições

estudadas. Esses resultados sugerem a necessidade de mais pesquisas para refinar o uso do hidropriming em diferentes espécies vegetais e condições ambientais.

A seguir se apresenta histogramas das distribuições de várias métricas como MPFA, MFR, MFT, MSR, MST e Índice de Dickson (IQD). Cada histograma exibe a frequência das medidas em intervalos específicos, com curvas teóricas sobrepostas sugerindo análises de normalidade e outras propriedades estatísticas. Esses gráficos facilitam a visualização da dispersão, tendência central e forma das distribuições, auxiliando na interpretação e comparação entre variáveis (Figura 2.11).

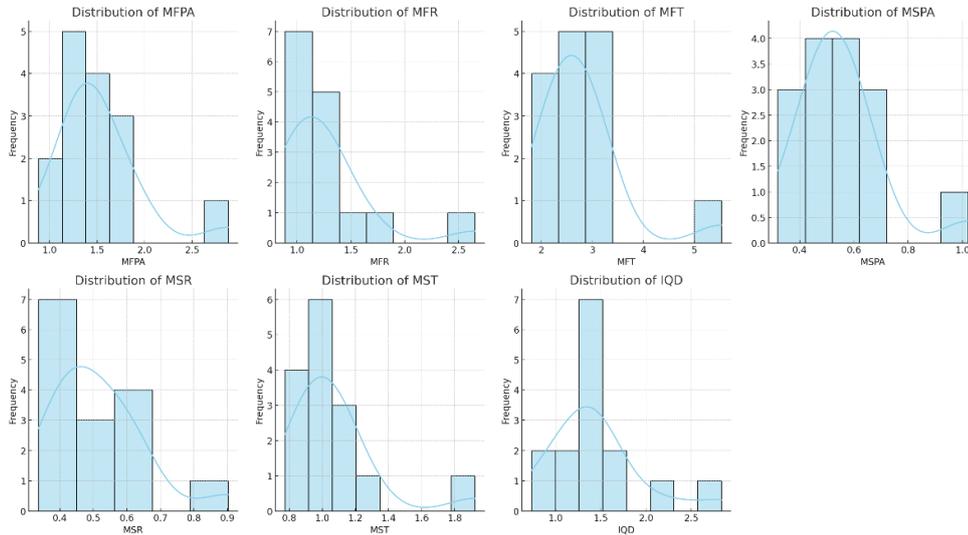


Figura 2.11. Distribuição das variáveis de crescimento e resposta em tratamentos de plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes em viveiro.

Em condições de viveiro, a altura e diâmetro das plântulas são significativamente influenciados pelos fatores de tratamento e tempo. No entanto, a interação entre esses fatores não mostrou um impacto significativo em nenhuma das variáveis, sugerindo que os efeitos do tratamento e do tempo são independentes um do outro quanto ao impacto na altura e no diâmetro (Figura 2.12).

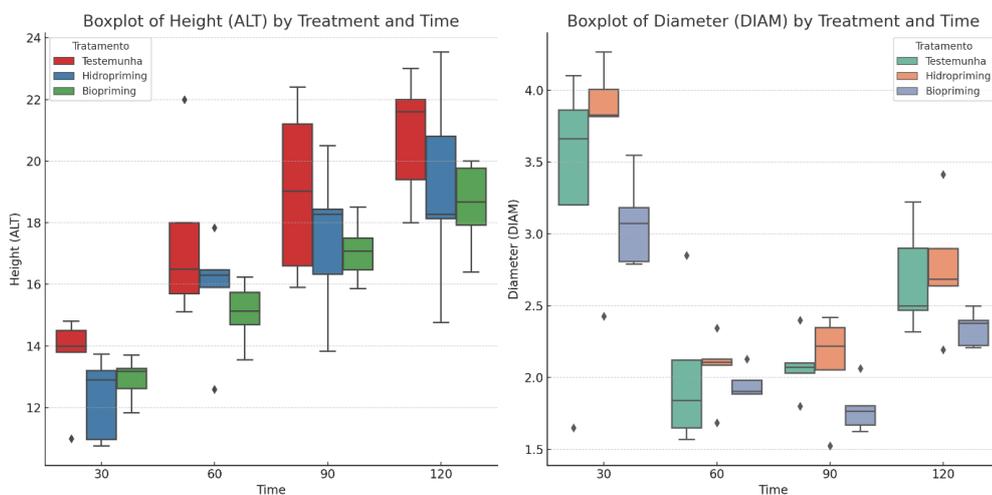


Figura 2.12. Evolução de altura e diâmetro por tipo de tratamento ao longo do tempo para tratamentos pré-germinativos em sementes de *Hancornia speciosa* Gomes.

Ao longo do período de 30 a 120 dias, a altura das plântulas aumentou para todos os tratamentos, com o tratamento de 'Biopriming' apresentando as maiores alturas. Da mesma forma, o diâmetro das plântulas também cresceu com o tempo, com 'Hidropriming' alcançando maiores diâmetros comparado aos outros tratamentos, especialmente nos períodos mais longos.

Ao se considerar a produção de mudas, indicadores como o Índice de Qualidade de Dickson é comumente utilizado para avaliar a qualidade geral das mudas, considerando aspectos como biomassa da parte aérea e das raízes, e eficiência no uso de nutrientes (Figura 2.13).

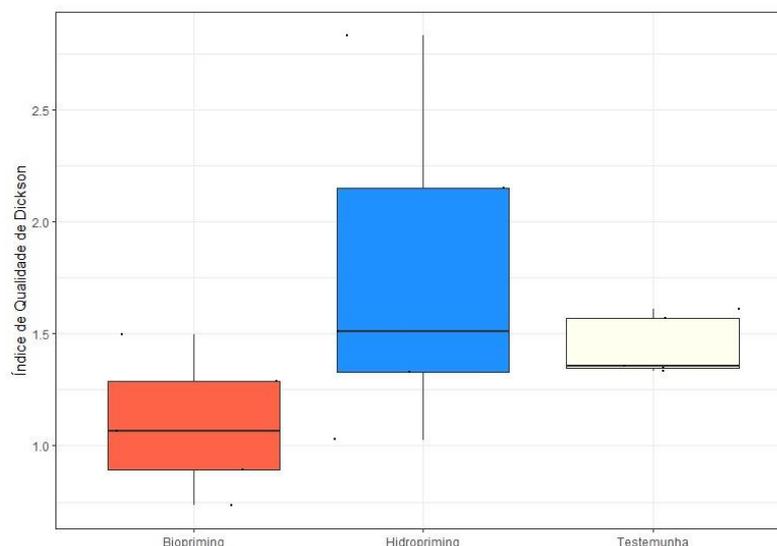


Figura 2.13. Comparação do Índice de Qualidade de Dickson em plantas de *Hancornia speciosa* Gomes obtidas com sementes tratadas biopriming e hidropriming.

As plantas tratadas com biopriming tiveram índices mais baixos, com médias ao redor de 1,25, indicando menor qualidade segundo o índice de Dickson. O hidropriming mostrou maior variabilidade, com medianas próximas de 1,75, sugerindo resultados variados e qualidade moderada. Comparativamente, as plantas testemunha, sem priming, apresentaram resultados similares ao hidropriming, mas com menor variação, indicando maior consistência na qualidade. Portanto, o biopriming pode não melhorar significativamente a qualidade das plantas segundo este índice.

O favorecimento de tratamentos pré-germinativos foi identificado em *Neolamarckia macrophylla*, uma espécie arbórea com potencial, mas com dificuldades no cultivo devido ao pequeno tamanho e baixa reserva alimentar das sementes, que levam a uma baixa germinação e crescimento das mudas. O tratamento das sementes com biopriming hormonal melhorou a altura, o diâmetro do colo da raiz e a biomassa das mudas, demonstrando serem métodos eficazes para otimizar o cultivo dessa espécie.

No entanto, somente analisar o desenvolvimento das mudas não é eficiente para se concluir os melhores tratamentos. A escolha entre biopriming e hidropriming deve considerar os objetivos específicos de qualidade e eficiência desejados na produção de plantas.

A variação no diâmetro de plantas está exposta na Figura 2.14.

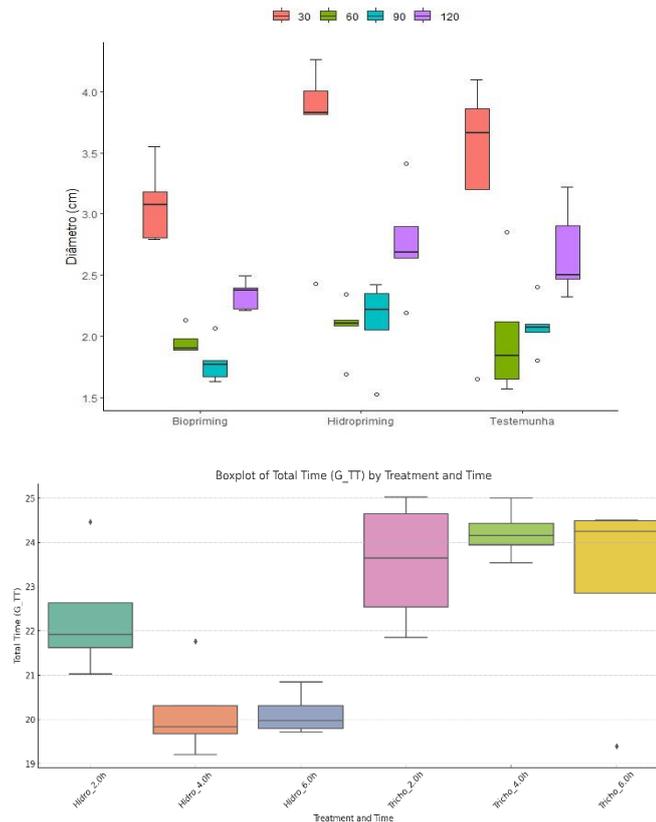


Figura 2.14. Variação do diâmetro de tratamentos pré-germinativos em sementes de *Hancornia speciosa* Gomes.

Houve aumento no diâmetro das plantas até 120 dias, alcançando cerca de 4 cm, com crescimento mais acentuado em tratamentos de biopriming comparado ao hidropriming, que mostrou crescimento radial menos pronunciado. Biopriming, um método barato e ecologicamente correto, provou melhorar a germinação e o desempenho das plântulas, como demonstrado em estudos com sementes de Sândalo (*Santalum album* L.), que tipicamente têm germinação pobre. O uso de *Trichoderma viride* no biopriming aumentou significativamente a taxa de germinação do Sândalo, alcançando até 82,72% com a aplicação de 100% de concentração por três dias (Satheesan *et al.*, 2023).

No controle, as plantas apresentaram um crescimento estável e moderado em diâmetro. O biopriming destacou-se por promover um aumento significativo no diâmetro, sugerindo uma eficácia maior em estimular o crescimento radial robusto. Em contraste, o hidropriming, apesar de induzir crescimento, foi menos eficaz que o biopriming nesse aspecto.

Estudos envolvendo o uso de cepas de *Trichoderma*, coletadas de cascas de árvores, são utilizados para promover o crescimento de plantas de arroz, gerenciar a saúde das plantas e aumentar a degradação da palha de arroz. As cepas aumentaram a expressão de várias enzimas e genes de defesa no arroz, indicando tolerância ao estresse aprimorada, tornando-as valiosas para o gerenciamento sustentável da saúde da cultura do arroz (Swain *et al.*, 2021).

A escolha do método pré-germinativo pode ter implicações significativas para o crescimento das plantas, especialmente em termos de características morfológicas como o diâmetro. O biopriming emerge como uma técnica promissora para maximizar o crescimento radial.

Na Figura 2.15 se analisam todas as variáveis relacionadas ao desenvolvimento de mudas e germinação.

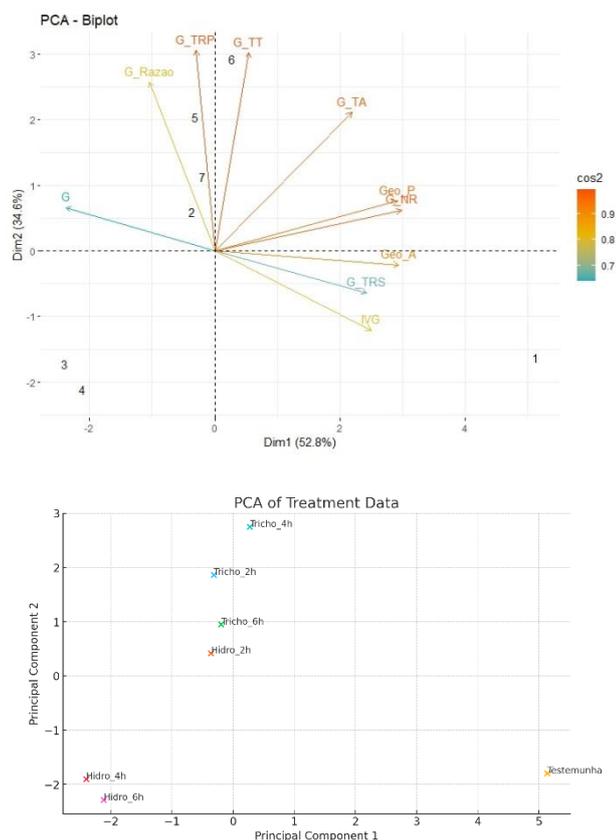


Figura 2.15. Análise de componentes principais (PCA) dos tratamentos (esquerda) e distribuição (direita) da influência das variáveis para indicadores de crescimento e geometria em plântulas de *Hancornia speciosa* Gomes obtidas após tratamentos pré-germinativos.

No estudo, as variáveis de crescimento geral, "G" e "G\_Razao" estão próximas à segunda dimensão (Dim2), destacando diferenças significativas dos outros vetores que se alinham principalmente à primeira dimensão (Dim1). As taxas específicas de crescimento e características de tecidos, como "G\_TRP", "G\_TT" e "G\_TA", juntamente com variáveis geométricas como "Geo\_P", "Geo\_NR", e "Geo\_A", têm forte presença na Dim1, revelando uma correlação direta com os indicadores de crescimento como "G\_TRS" e "IVG". Esta configuração sugere que, embora as características geométricas estejam fortemente correlacionadas entre si e com taxas de crescimento específicas, elas não se correlacionam diretamente com o crescimento geral.

A proximidade entre as taxas de crescimento e as variáveis geométricas indica uma influência mútua significativa, refletindo como diferentes padrões de crescimento afetam a forma e a estrutura física das plantas. A análise de PCA auxilia na compreensão dessas relações, crucial para otimizar práticas de produção de mudas e desenvolver métodos para promover o crescimento e forma desejados em condições controladas.

#### 5.4. Conclusão

O uso do bioinsumo comprovou ser uma alternativa viável e benéfica para produção de mudas de mangabeira, podendo ser utilizado na restauração de áreas de mangabeira, com o biopriming destacando-se por sua eficiência em promover um crescimento robusto e uniforme das plântulas.

Este estudo não apenas reforça a importância de métodos sustentáveis na agricultura e restauração ecológica, mas também evidencia o potencial dos bioinsumos para melhorar a

resiliência das plantas e a sustentabilidade dos ecossistemas. Portanto, a adoção dessas técnicas pode significar um avanço significativo para práticas na produção de mudas nativas.

## 5.5. Referências

BRASIL, Presidência da República do. **Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília-DF, 2020.

CERITOĞLU, M.; ERMAN, M.; ÇIĞ, F.; UÇAR, Ö.; SOYSAL, S.; ERDEN, Z.; TOPRAK, Ç. C. Bio-priming Treatment with PGPB Strains in Cowpea Production Increases Grain Yield and Net Income. **Research in Agricultural Sciences**, v. 55, n. 2, p. 79-88, 2024.

FAJARDO, C. G.; COSTA, D. F. D.; CHAGAS, K. P. T. D.; VIEIRA, F. D. A. Genetic diversity in natural populations of *Hancornia speciosa* Gomes: Implications for conservation of genetic resources. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras- MG, v. 42, p. 623-630, 2018.

LIMA, I. M. O.; Salles, J. S.; Costa, E.; Lima, A. H. F.; Binotti, F. F. S.; Zoz, T.; Vieira, G. H. C. Quality and growth of mangaba (*Hancornia speciosa*) seedlings according to the substrate and shading. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 3, p. 531-536, 2020.

LUTTS, S.; BENINCASA, P.; WOJTYLA, L.; KUBALA, S.; PACE, R.; LECHOWSKA, K.; QUINET, M.; GARNCZARSKA, M. Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. **New challenges in seed biology-basic and translational research driving seed technology**, v. 46, n. 10.5772, 2016. 64420 p.

NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; CALAZANS, C. C. Geno-phenotypic diversity in a natural population of *Hancornia speciosa* Gomes: implications for conservation and improvement. **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s. l.], v. 68, n. 7, p. 2869-2882, 2021.

OLIVEIRA, E. V. D. S.; LANDIM M. F. Flora das Restingas de Sergipe: padrões de distribuição espacial e status de conservação de suas espécies. **Natureza online**, v. 14, n. 1, p. 24-31, 2016.

SATHEESAN, A.; JJEESH, C. M.; KUNHAMU, T. K.; SANTHOSHKUMAR, A. V.; JAMALUDHEEN, V.; SETTU, K.; ATHIKKAYI, A.; NAGERI, F. (*Trichoderma viride* based seed bioprimering strategies for quality seedling production in East Indian Sandalwood. **Research Square**, p.1-23, 2023.

SILVA JÚNIOR, J. F. A cultura da mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal- SP, v. 26, p. 1-192, 2004.

SWAIN, H.; ADAK, T.; MUKHERJEE, A. K.; SARANGI, S.; SAMAL, P.; KHANDUAL, A.; JENA, R.; BHATTACHARYYA, P.; NAIK, S. K.; MEHETRE, S. T.; BAITE, M. S.; KUMAR, S.; ZAIDI, N. W. Seed bioprimering with *Trichoderma* strains isolated from tree bark improves plant growth, antioxidative defense system in rice and enhances straw degradation capacity. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 633881, 2021.

WANI, M. A.; KHAN, F. U.; DIN, A.; NAZKI, I. T.; IQBAL, S.; BANDAY, N. Influence of primering treatments on germination, seedling growth and survival of China aster [*Callistephus chinensis* (L.)]. **Vegetos**, v. 36, n. 2, p. 464-473, 2023.

ZULUETA-RODRÍGUEZ, R.; HERNÁNDEZ-MONTIEL, L. G.; MURILLO-AMADOR, B.; RUEDA-PUENTE, E. O.; CAPISTRAN, L. L.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; CÓRDOBA-MATSON, M. V. Effect of Hydropriming and Biopriming on Seed Germination and Growth of Two Mexican Fir Tree Species in Danger of Extinction. **Forests**, v. 6, n. 9, p. 3109-3122, 2015.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações empreendidas durante o desenvolvimento deste trabalho permitiram não só avaliar a diversidade genética e fenotípica das matrizes de *Hancornia speciosa* na Reserva Extrativista Missionário Uilson de Sá, mas também explorar o potencial dos bioinsumos na otimização do cultivo dessas mudas.

A aplicação de marcadores moleculares revelou uma variabilidade genética significativa, essencial para a formulação de estratégias de manejo e conservação eficazes. Esta diversidade genética é um indicativo da capacidade de resiliência da espécie frente às mudanças ambientais e pressões antropogênicas, sendo um pilar para a sustentabilidade da Reserva.

A parte mais inovadora do estudo envolveu o uso de bioinsumos, especialmente o fungo *Trichoderma* sp., que se mostrou promissor ao melhorar significativamente o desenvolvimento das mudas. Estes resultados não apenas sublinham a viabilidade de práticas de restauração ecológicas mais sustentáveis como também abrem portas para futuras pesquisas focadas na interação entre bioinsumos e a conservação de espécies nativas.

Considerando os resultados obtidos, sugere-se a continuação da pesquisa na área, com especial atenção para a análise longitudinal do impacto dos bioinsumos no crescimento das plantas em diferentes estádios de desenvolvimento e suas interações ecológicas no habitat natural. Além disso, estudos futuros poderiam expandir o espectro de bioinsumos testados e explorar mais profundamente as dinâmicas genéticas das populações de *H. speciosa* em outras reservas e condições ambientais, enriquecendo assim o nosso entendimento sobre as melhores práticas de manejo e conservação dessa espécie tão valiosa.