



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

RAUL ARAUJO SOUZA JACOBEM

MINIESTACAS HÉRBACEAS FAVORECEM O ENRAIZAMENTO DE *Astronium*
urundeuva (M. Allemão)

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2024

RAUL ARAUJO SOUZA JACOBEM

MINIESTACAS HÉRBACEAS FAVORECEM O ENRAIZAMENTO DE *Astronium*
urundeuva (M. Allemão)

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.
Orientadora: Elzimar de Oliveira Gonçalves

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2024

RAUL ARAUJO SOUZA JACOBEM

MINIESTACAS HÉRBACEAS FAVORECEM O ENRAIZAMENTO DE *Astronium*
urundeuva (M. Allemão)

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovado em 04 de julho de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Elzimar de O. Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Joana Silva Costa

Universidade Federal do Espírito Santo
examinador

Matheus Azevedo Carvalho

Universidade Federal do Espírito Santo
examinador

“Todo esforço é findo. Pende o tempo, do mastro. Rígido, somente o esqueleto do hábito sustenta a forma humana. E onde não há nada, disse Peter Walsh para si mesmo; o sentimento escava-se, oco, completamente oco.”

- Virgínia Wolf

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que desde sempre tem me apoiado e investido para que esse momento chegasse.

Aos meus avós, que amo incondicionalmente.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM).

Ao Viveiro Florestal Universitário.

À professora Elzimar pela orientação, oportunidade e paciência.

Ao Otávio pelo suporte no viveiro e durante as pesquisas.

Aos amigos, Gabriela, Jamile, Luiz Otávio, Louise, Gabriel, Marina, Charol, Giovana, João Pedro, Lara e a todos os outros que tornaram esse momento possível.

Ao Matheus pela disponibilidade e parceria no projeto.

E a mim, pela tenacidade de permanecer.

RESUMO

A espécie *Astronium urundeuva* conhecida popularmente como aroeira-do-sertão ou urundeuva, apresenta grande importância ecológica e econômica, o que está atrelado ao seu potencial para indústria farmacêutica, madeireira e seu emprego na cadeia de restauração florestal. O objetivo da pesquisa foi avaliar o enraizamento de estacas e miniestacas, de consistência herbácea e semilenhosa, na presença ou ausência de ácido indol-3-butírico. As estacas e miniestacas foram coletadas de matrizes adultas e juvenis, com subsequente cultivo em tubetes contendo substrato comercial e fertilizante de liberação controlada (FLC 5M). Após 90 dias de cultivo em casa de vegetação com sistema de nebulização com sistema de nebulização intermitente, avaliou-se a sobrevivência (%) com base na observação do enraizamento aparente das estacas e miniestacas. As miniestacas apresentaram maior capacidade de enraizamento em comparação com as estacas que são provenientes de matrizes adultas. Além disso, as miniestacas juvenis retiradas da região apical, demonstraram um desempenho superior em relação às intermediárias. Entretanto, a aplicação de AIB não demonstrou benefícios adicionais significativos no enraizamento. Diante disso, conclui-se que a idade da matriz e a consistência do propágulo são fatores determinantes para o sucesso do enraizamento das estacas e miniestacas de *Astronium urundeuva*.

Palavras-chave: Aroeira-verdadeira; Propagação vegetativa; Mata Atlântica; Ácido Indol-3-Butírico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.2 Objetivo geral	12
2.2.1 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 <i>Astronium urundeuva</i>	12
3.2 Propagação vegetativa	13
3.3 Processos ontogenéticos no desenvolvimento vegetal.....	14
3.4 Ácido Indol-3-Butírico.....	16
4. METODOLOGIA	17
4.1 Área de estudo.....	17
4.2 Coleta do material	18
4.2.1 Matrizes Adultas	18
4.2.2 Matrizes juvenis.....	18
4.3 Estaqueamento	19
4.5 Análise de dados	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos testados.....	20
Tabela 2. Resultados da análise de variância (ANOVA) para os efeitos das fontes de propágulo e regulador em <i>A. urundeuva</i> , utilizando um esquema fatorial 2x2.	24
Tabela 3. Contrastes ortogonais e significância estatística para os tratamentos de enraizamento de estacas juvenis de <i>Astronium urundeuva</i> . Os contrastes foram calculados entre as diferentes consistências dos propágulos e entre tratamentos com e sem regulador de crescimento.	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo no Viveiro Florestal Universitário da UFES, Jerônimo Monteiro, ES.	17
Figura 2. Matrizes que deram origem às estacas e miniestacas de <i>Astronium urundeuva</i>	19
Figura 3. Processo de Produção de Miniestacas de <i>Astronium urundeuva</i> na casa de vegetação do Viveiro Florestal Universitário.	21
Figura 4. Médias de sobrevivência (%) das miniestacas de <i>A. urundeuva</i> provenientes de diferentes tratamentos após 90 dias de cultivo em casa de vegetação com nebulização intermitente.	22
Figura 5. Comparativo de enraizamento entre os diferentes tratamentos de miniestacas de <i>Astronium urundeuva</i>	23

1. INTRODUÇÃO

A família Anacardiaceae, que inclui a espécie *Astronium urundeuva* (M. Allemão), destaca-se como uma das mais significativas famílias de plantas na América do Sul. Composta por aproximadamente 700 espécies, distribuídas entre 13 gêneros, essa família apresenta uma relevância particular no território brasileiro. Isso porque no Brasil encontram-se cerca de 200 espécies de Anacardiaceae, distribuídas por todo território (Pell *et al.*, 2011).

A. urundeuva, também conhecida pelo basônimo *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão, e popularmente conhecida como aroeira-do-sertão ou urundeuva, é uma árvore nativa do Brasil, amplamente distribuída pelas regiões nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do país (Flora do Brasil, 2024; Lorenzi, 2002). Sua presença está registrada em ambientes como a Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, áreas de Formações Submontanas, bem como no Cerrado e no Pantanal. Essa espécie é decídua e dioica, com polinização cruzada realizada principalmente por abelhas (Carvalho, 2003).

Essa espécie destaca-se por sua versatilidade, já que pode ser utilizada em diversas áreas, desde obras externas e construção civil, até aplicações medicinais (Justino *et al.*, 2021). Devido à diversidade de utilidades atribuídas à espécie, tem-se observado um aumento significativo em sua exploração (Domingos *et al.*, 2020). A exploração indiscriminada dessa espécie, resulta na devastação de suas populações naturais, levou à sua classificação como ameaçada de extinção no passado (Senigalia *et al.*, 2020).

A floresta funciona como um organismo holobionte, onde cada espécie contribui de maneira única para a biodiversidade; sua estabilidade depende de relações intraespecíficas e interespecíficas. Com isso, compreende-se que a introdução de espécies fora de seu ambiente natural pode causar distúrbios ambientais, assim como a extinção de uma espécie específica pode desencadear efeitos em cadeia de difícil previsibilidade (Simberloff *et al.*, 1999).

Diante disso, nota-se que a preservação de uma única espécie, como a *A. urundeuva*, é vital para a biodiversidade e para a resiliência do ecossistema como um todo (Simberloff *et al.*, 1999). A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do mundo, sendo crucial adotar medidas eficazes de conservação para proteger não

apenas a biodiversidade, mas também os serviços ecossistêmicos que esse bioma oferece (SOS Mata Atlântica, 2022).

Reconhecendo a importância dos ecossistemas florestais na preservação da biodiversidade, a comunidade internacional estabeleceu metas ambiciosas de restauração florestal. *A. urundeuva* pode ser utilizada em programas de restauração. No entanto, os embriões dessa espécie apresentam dormência e poder germinativo reduzido após um curto período sob condições naturais, tal fato dificulta a utilização dessa espécie para restauração florestal. Diante desse cenário, é fundamental buscar alternativas para superar essas barreiras (Bastin *et al.*, 2019; Botino *et al.*, 2024; Dahl *et al.*, 2020; Edwards *et al.*, 2021; Girardin *et al.*, 2021; Gonzaga *et al.*, 2003).

Uma solução promissora para disseminar espécies que possuem produção seminífera dificultada e oferta de sementes limitada é a aplicação da propagação vegetativa. A estaquia é uma técnica da propagação vegetativa, que utiliza brotações epicórmicas como fonte de propágulo, essa técnica tem se mostrado eficiente na produção de mudas de qualidade e na rápida expansão de áreas de cultivo (Fernandes *et al.*, 2015).

Dentro dessa técnica, tem-se também a miniestaquia, que pode ampliar a produção de mudas, garantindo a disponibilidade contínua de material genético (Araújo *et al.*, 2020). A utilização do ácido indol-3-butírico (AIB) tem sido uma estratégia importante para mitigar esses efeitos ao promover o enraizamento de estacas e melhorar a regeneração das espécies florestais. Estudos anteriores destacam a importância do AIB em processos de restauração e manejo sustentável de espécies ameaçadas (Dutra *et al.*, 2012; Fachinello *et al.*, 1995).

Diante do exposto, objetivou-se averiguar a influência da consistência das estacas e miniestacas, e da aplicação de ácido indol-3-butírico (AIB), no enraizamento de *A. urundeuva*. Considerando as seguintes hipóteses alternativas: (I) As miniestacas de *A. urundeuva* terão maior capacidade de enraizamento, devido à sua maior atividade fisiológica; (II) Haverá diferenças significativas na sobrevivência das miniestacas de acordo com sua consistência, devido às variações na concentração de hormônios de enraizamento e nas características anatômicas dos tecidos do material coletado; (III) A aplicação do regulador de crescimento terá um efeito significativo no enraizamento das estacas e miniestacas.

2. OBJETIVOS

2.2 Objetivo geral

Avaliar o enraizamento de estacas e miniestacas de *Astronium urundeuva*, de consistência herbácea e semilenhosa, na presença ou ausência de ácido indol-3-butírico.

2.2.1 Objetivos específicos

- Quantificar o percentual de sobrevivência das miniestacas de *A. urundeuva* de matrizes adultas e juvenis;
- Comparar o enraizamento das miniestacas herbáceas (apicais) e semilenhosas (intermediárias);
- Verificar a eficácia da aplicação do regulador de crescimento (AIB).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Astronium urundeuva*

A. urundeuva, pertencente à família Anacardiaceae, é uma espécie lenhosa e resinosa conhecida por seu aroma característico nas partes jovens, similar ao dos frutos da mangueira (Silva-Luz *et al.*, 2021). Popularmente chamada de aroeira, aroeira-do-sertão ou urundeuva, essa planta decídua prefere ambientes ensolarados e possui adaptações que permitem sua sobrevivência em condições xerófitas. No entanto, um dos principais desafios na produção de mudas dessa espécie nativa é seu crescimento lento. A aroeira é classificada como uma espécie tardia ou clímax, indicando seu papel na sucessão ecológica e estabilidade de ecossistemas maduros (Lorenzi, 1992).

Possui uma copa ampla e um tronco reto e elevado, podendo atingir até 20 metros de altura e 60 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) em ambientes de Caatinga e Cerrado. Em florestas pluviais, sua altura pode variar entre 27 e 30 metros,

com um DAP de aproximadamente 85 cm (Alves *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2014). Apresenta um epicarpo de coloração castanho-escuro, é membranáceo, rugoso e resinífero, exalando um odor distintivo. O fruto é uma drupa carnosa e indeiscente com formato subgloboso, medindo entre 0,33 a 0,42 cm de comprimento e 0,33 a 0,44 cm de largura (Urquiza *et al.*, 2019).

A espécie apresenta inflorescência em forma de panícula, que pode variar de 13 a 20 cm de comprimento, pendendo e exibindo cores que vão do marrom ao roxo. Os botões florais são pequenos e arredondados, com tamanhos aproximados de 1 a 1,5 mm. As flores são sésseis e unissexuais, com plantas separadas para cada sexo. Nas flores masculinas, o cálice é pequeno, ovado, com margens claras e ciliadas. Nas flores femininas, o cálice é maior, persistente, com aproximadamente 6 a 7 mm de comprimento e anteras alongadas (CNIP, 2014).

A urundeúva apresenta inúmeras propriedades medicinais, atuando como adstringente, antialérgico, anti-inflamatório e cicatrizante. Por via oral, a espécie pode atenuar e até curar gastrite, úlceras estomacais e do duodeno; para uso tópico, é indicada no tratamento de ferimentos infeccionados da pele e de mucosas, como gengivites, faringites e amigdalites e outras doenças (Bezerra, 2020; Pareyn *et al.*, 2018).

A *Astronium urundeuva* é uma das espécies madeireiras mais comercializadas no Brasil, comumente utilizada em obras e materiais externos (Lima *et al.*, 2011; Serviço Florestal Brasileiro, 2010). Apesar de seu alto valor econômico e diversos usos, a urundeuva continua sendo explorada de forma predatória e exclusivamente por práticas extrativistas. Essa exploração excessiva compromete suas populações naturais, a preservação de seus recursos genéticos e a sustentabilidade das cadeias produtivas associadas e como consequência, a espécie figurou anteriormente nas listas de ameaça de extinção. (IBAMA, 1992; Silva *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2018).

3.2 Propagação vegetativa

A propagação vegetativa, utilizando técnicas como a estaquia e a miniestaquia, é essencial para superar os desafios da propagação seminífera de espécies nativas. Essas técnicas são valiosas tanto para aplicações comerciais quanto para a conservação de recursos genéticos florestais. A base dessas práticas reside na

capacidade das células somáticas de desenvolver novos indivíduos completos a partir de um único progenitor. Nos minijardins clonais, são utilizadas pequenas estacas padronizadas para promover o crescimento de brotações epicórmicas, que surgem de gemas axilares latentes. Essas brotações juvenis são cruciais para a renovação da copa das plantas, assegurando sua vitalidade e crescimento contínuo. No entanto, é importante reconhecer que, apesar da eficácia dessas técnicas, elas exigem um manejo cuidadoso e uma compreensão aprofundada dos fatores que influenciam o desenvolvimento das plantas, como a nutrição e as condições ambientais (Dias *et al.*, 2012; Xavier *et al.*, 2013).

A classificação das estacas e miniestacas baseia-se na posição de coleta, podendo ser apicais (herbáceas), intermediárias (semilenhosas) ou basais (lenhosas). A utilização de diferentes tipos de miniestacas maximiza o aproveitamento das brotações colhidas, resultando em maior eficiência no processo de clonagem. A propagação vegetativa permite que plantas fornecedoras de propágulos sejam cultivadas em ambientes controlados, onde a nutrição e a irrigação são constantemente monitoradas. Essa abordagem é eficiente e economicamente vantajosa, possibilitando a multiplicação rápida e fácil de genótipos em larga escala comercial (Kuppusamy *et al.*, 2019).

Estacas retiradas das porções mais jovens do topo do ramo geralmente apresentam menor grau de lignificação, metabolismo mais ativo e reservas de nutrientes reduzidas, tornando-as mais suscetíveis à desidratação dos tecidos. Consequentemente, estacas provenientes de diferentes segmentos dos ramos exibem variados potenciais de enraizamento, influenciando a qualidade das plantas resultantes. No entanto, há uma carência de estudos sobre a propagação vegetativa por miniestacas, especialmente aqueles que investigam as diversas partes dos ramos de onde as miniestacas são coletadas (Hartmann *et al.*, 2011; Thiesen *et al.*, 2022).

3.3 Processos ontogenéticos no desenvolvimento vegetal

A ontogenia refere-se à transição geneticamente regulada das plantas através de uma série de estágios de desenvolvimento, que incluem as fases de semente, germinação/plântula, juvenil, adulto vegetativo, adulto reprodutivo e senescente (Jones, 1999). Compreender a variação fenotípica e funcional das plantas ao longo

desses estágios é crucial para prever como as espécies responderão às mudanças ambientais e aos distúrbios ecológicos (Garnier *et al.*, 2016; Laughlin *et al.*, 2014).

As plantas aumentam de tamanho com o envelhecimento e passam por diferentes estágios ontogenéticos. Embora idade e tamanho sejam frequentemente considerados indicadores da ontogenia, esses conceitos não são sinônimos. Idade e tamanho podem influenciar as características funcionais das plantas, mas essas mudanças não necessariamente correspondem aos padrões ontogenéticos. As mudanças nas características funcionais observadas com o aumento da idade ou tamanho das plantas indicam que a ontogenia envolve processos independentes, não simplificáveis apenas por idade ou tamanho (Meinzer *et al.*, 2011).

À medida que as plantas se desenvolvem ao longo da ontogenia, suas características mudam devido a fatores internos e externos, bem como à interação entre eles. Fatores internos referem-se a mudanças geneticamente reguladas na expressão de características, enquanto fatores externos impulsionam a variação das características ontogenéticas através da plasticidade fenotípica. Essa plasticidade, expressa principalmente no desenvolvimento de novos tecidos, contribui significativamente para a variação das características morfológicas e anatômicas ao longo do desenvolvimento da planta (Barton, 2023). Entender a evolução ontogenética é fundamental para definir o comportamento funcional das plantas dentro dos ecossistemas (Mason *et al.*, 2013).

As mudanças ontogenéticas em plantas manifestam-se em várias características, incluindo a morfologia das folhas, a estrutura do sistema radicular e a eficiência na utilização de recursos. Por exemplo, muitas árvores jovens apresentam folhas mais finas e flexíveis, adaptadas para captar luz em ambientes sombreados. Em contraste, árvores maduras desenvolvem folhas mais espessas e duráveis, adequadas para condições de maior exposição solar. No que diz respeito ao sistema radicular, plantas jovens geralmente possuem raízes mais superficiais e ramificadas, otimizadas para explorar rapidamente água e nutrientes próximos à superfície. Por outro lado, plantas mais velhas desenvolvem raízes mais profundas, capazes de acessar recursos em camadas mais profundas do solo (Steppe *et al.*, 2015).

3.4 Ácido Indol-3-Butírico

O ácido indol-3-butírico é uma auxina sintética essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Quando aplicado, o AIB aumenta os níveis de auxina em áreas específicas da planta. Nas regiões meristemáticas, onde as células são indiferenciadas e se dividem ativamente, o AIB estimula a ativação de genes que controlam o ciclo celular, promovendo a proliferação celular necessária para a formação de novas raízes ou o fortalecimento das raízes existentes. Após a divisão celular, as novas células entram em uma fase de crescimento, durante a qual se alongam e expandem, melhorando a capacidade da planta de absorver água e nutrientes do solo (Ai *et al.*, 2024; Aldowigh *et al.*, 2024; Jan *et al.*, 2024; Taiz *et al.*, 2023).

O AIB é amplamente utilizado para estimular o enraizamento em plantas difíceis de propagar por meio de estacas. Vários estudos demonstram que tratamentos hormonais pré-plantio, incluindo a administração de AIB, são eficazes para melhorar o desempenho do enraizamento. Por exemplo, concentrações de 0,4 a 0,5% de AIB foram identificadas como as mais eficazes para o enraizamento de *Tecoma stans* (Daskalakis *et al.*, 2018). Além de suas aplicações práticas, o AIB tem sido estudado por seu papel na ativação de genes que regulam o ciclo celular. Ele promove a proliferação celular nas regiões meristemáticas, onde as células se mantêm indiferenciadas e possuem alta capacidade de divisão (Gonin *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2023).

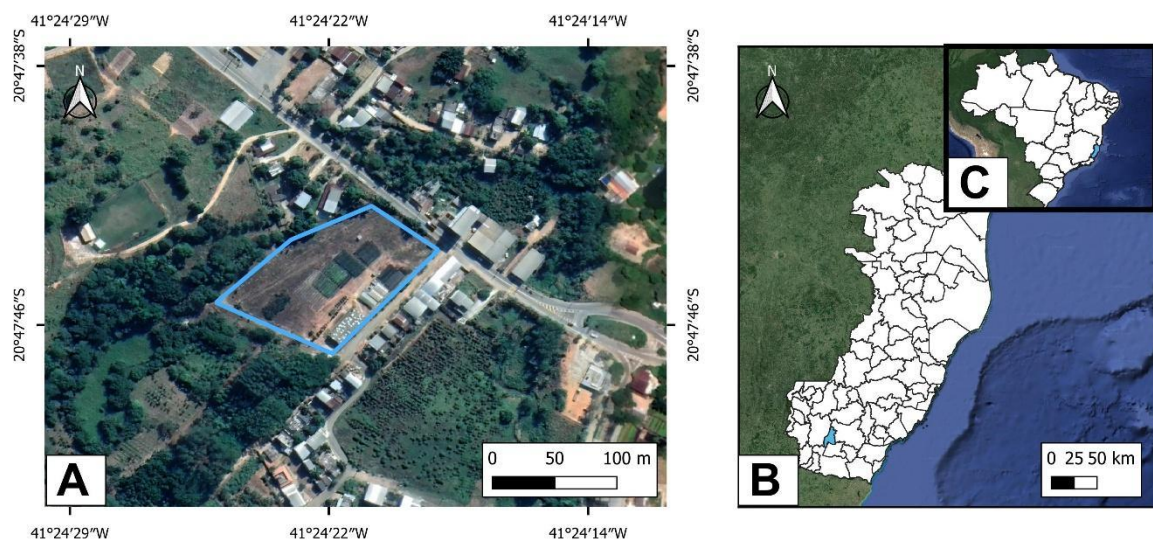
A eficácia do AIB também está relacionada aos níveis endógenos de fitohormônios e compostos fenólicos nas plantas, que desempenham um papel significativo na formação de raízes (Izadi *et al.*, 2016). No entanto, durante o período de cultivo em casa de vegetação, os reguladores de crescimento como o AIB não afetam a sobrevivência das estacas de forma isolada, outros fatores, como a temperatura ambiente, também são críticos para o sucesso do enraizamento (Daskalakis *et al.*, 2021). Além disso, apesar dos reguladores serem benéficos para o enraizamento, doses elevadas podem ter efeitos negativos. Estudos indicam que altas concentrações de AIB podem impactar negativamente a sobrevivência das plantas, reduzir o volume radicular e diminuir a massa seca (Bai *et al.*, 2020).

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) em Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES). O local está situado nas coordenadas 20°47'S e 41°23'W (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região possui um clima do tipo Cwa, tropical quente e úmido (Alvares *et al.*, 2013).

Figura 1. Área de estudo no Viveiro Florestal Universitário da UFES, Jerônimo Monteiro, ES.



<p>Legenda:</p> <p> A: Área de estudo</p> <p> B: Mapa do Espírito Santo com destaque em Jerônimo Monteiro</p> <p> C: Mapa do Brasil com destaque no Espírito Santo</p>	<p>Sistema de coordenadas: Geográfico</p> <p>Datum: SIRGAS 2000</p> <p>Fonte da Imagem: Google Satellite</p>
--	--

Fonte: o autor, 2024.

4.2 Coleta do material

4.2.1 Matrizes Adultas

No arboreto do viveiro, havia duas matrizes adultas disponíveis (Figura 2). Utilizando um podão e uma tesoura de poda, os propágulos foram retirados aleatoriamente dessas matrizes. O ambiente em que as matrizes estavam inseridas era manejado com roçadas regulares, e o material resultante das roçadas era deixado no local, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e ajudando a manter a fertilidade do solo. No entanto, as árvores matrizes apresentaram ataque de cupins de montículo, o que pode ter influenciado suas condições gerais.

4.2.2 Matrizes juvenis

Foram coletadas miniestacas de matrizes juvenis de origem seminal localizadas na casa de sombra do Viveiro Florestal Universitário. Essas matrizes apresentavam 10 meses de idade e vigor satisfatório, sendo parte da produção regular do viveiro. As matrizes juvenis estavam em tubetes de 280 cm³, preenchidos com substrato "TerraNutri", padrão do viveiro, e submetidos a um regime de adubação com fertilizante de liberação controlada (FLC 5M).

A coleta foi realizada com o auxílio de uma tesoura de poda, retirando-se tanto o ápice quanto a porção intermediária das brotações utilizadas como fonte de propágulo. Após o material ser recolhido, as miniestacas foram imediatamente submersas em água gelada. O material foi armazenado e posteriormente levado ao sistema de nebulização para dar continuidade à etapa de estaqueamento.

Figura 2. Matrizes que deram origem às estacas e miniestacas de *Astronium urundeuva*.



(A) Matrizes adultas de *Astronium urundeuva*. (B) Outra perspectiva das matrizes adultas. (C) Matrizes juvenis na casa de sombra do viveiro florestal universitário. (D) Matriz juvenil em tubete de 280 cm³ após 90 dias da retirada das miniestacas.

Fonte: o autor, 2024.

4.3 Estaqueamento

As estacas e miniestacas foram confeccionadas no tamanho de 8 cm, preservando parcialmente a área foliar. O material que deu origem às miniestacas foi coletado de propágulos apicais e intermediárias tanto das matrizes adultas quanto das matrizes juvenis, em seguida colocados em tubetes de 180 cm³, preenchidos com substrato comercial (TerraNutri).

O substrato foi enriquecido com 5 g L⁻¹ de fertilizante de liberação controlada (FLC), cuja formulação é 13-6-16, liberando nutrientes de forma contínua por um período de 5 meses. Os tubetes foram organizados em bandejas e levados para a casa de vegetação com nebulização intermitente.

Durante o estaqueamento, 50 % das miniestacas apicais e intermediárias (Tabela 1) tiveram suas bases mergulhadas em uma solução de regulador de crescimento ácido indol-3-butírico (AIB) com concentração de 2000 mg L⁻¹ durante 2 segundos, enquanto a outra metade foi estaqueada sem a aplicação deste regulador. Os tratamentos foram organizados conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos testados.

Tratamentos	Descrição
T1	Matriz Adulta, Estaca Apical, Sem Regulador
T2	Matriz Adulta, Estaca Apical, Com Regulador
T3	Matriz Adulta, Estaca Intermediária, Sem Regulador
T4	Matriz Adulta, Estaca Intermediária, Com Regulador
T5	Matriz Juvenil, Estaca Apical, Sem Regulador
T6	Matriz Juvenil, Estaca Apical, Com Regulador
T7	Matriz Juvenil, Estaca Intermediária, Sem Regulador
T8	Matriz Juvenil, Estaca Intermediária, Com Regulador

Fonte: o autor, 2024.

As miniestacas foram mantidas na casa de vegetação, com sistema de irrigação controlada, durante 90 dias, e posteriormente, foram avaliados a sobrevivência (%) e enraizamento (%). Miniestacas que não apresentaram raízes ou formação de calo foram classificadas como não sobreviventes, mesmo que ainda mantivessem folhas residuais (Figura 3).

As avaliações destrutivas envolveram a análise do enraizamento aparente. Para isso, utilizou-se uma régua graduada em centímetros, medindo a distância entre a base do caule e a extremidade da raiz principal.

Figura 3. Processo de Produção de Miniestacas de *Astronium urundeuva* na casa de vegetação do Viveiro Florestal Universitário.



(A) Coleta de miniestacas de *Astronium urundeuva*, preservando parcialmente a área foliar. (B) Miniestacas nos tubetes com substrato comercial e fertilizante de liberação controlada. (C) Vista ampla da organização dos tubetes em bandejas dentro da casa de vegetação.

Fonte: o autor, 2024.

4.5 Análise de dados

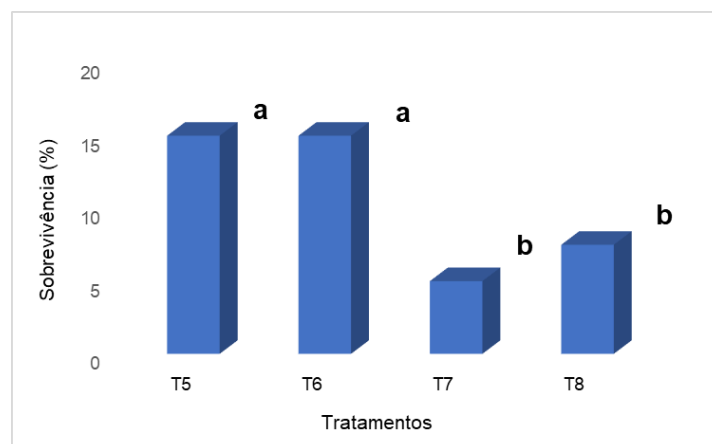
O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por oito tratamentos. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), teste F ($p < 0,05$), e teste Tukey ($p < 0,05$). Foi realizado também contrastes ortogonais para analisar a eficácia dos fatores estudados. As análises foram conduzidas com o auxílio do software R Studio (R CORE TEAM, 2019).

Durante o processo de análise de dados, foi necessário redefinir o delineamento experimental. O arranjo original era um fatorial 2x2x2, incluindo a fonte do propágulo (matrizes adultas e matrizes juvenis). No entanto, como nenhuma estaca das matrizes adultas sobreviveu, foi preciso ajustar o delineamento para um arranjo fatorial 2x2, continuando o experimento apenas com as miniestacas juvenis, garantindo assim a análise adequada dos resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As miniestacas provenientes de matrizes adultas (T1; T2; T3; T4), tanto na parte apical quanto na intermediária, com ou sem o uso de reguladores, sobreviveram até o final do experimento, e não apresentaram sinais de enraizamento ou formação de calo. Machado *et al.* (2022) sugerem que este resultado pode ser atribuído à alta lignificação dos tecidos vegetais em indivíduos mais desenvolvidos, fator que influencia negativamente a capacidade de enraizamento das miniestacas. As características genéticas das espécies e a maturidade dos tecidos mais velhos podem ter impactado significativamente os resultados, especialmente em estacas de maior diâmetro (Santos *et al.*, 2011).

Figura 4. Médias de sobrevivência (%) das miniestacas de *A. urundeuva* provenientes de diferentes tratamentos após 90 dias de cultivo em casa de vegetação com nebulização intermitente.



Médias não seguidas de mesma letra na comparação entre os tempos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: o autor, 2024.

T5 (15 %) e T6 (15 %) não apresentaram diferenças significativas entre si, conforme indicado pela letra "a". T7 (5 %) e T8 (7,5 %) também não diferiram significativamente entre si, conforme indicado pela letra "b". No entanto, houve diferenças significativas entre os tratamentos T5/T7, T5/T8, T6/T7, T6/T8 conforme indicado pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Outros estudos demonstraram a superação dos desafios associados ao enraizamento de estacas a partir de material maduro. Em pesquisas envolvendo

espécimes adultos de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., descobriu-se que o enraizamento bem-sucedido não dependia apenas das condições ambientais ideais ou da aplicação de reguladores de crescimento (Nascimento *et al.*, 2019). Os pesquisadores enfatizaram que as características genéticas dos indivíduos adultos desempenham um papel crucial, contribuindo significativamente para o enraizamento natural da espécie. O uso de AIB não afetou o enraizamento de estacas maduras, reforçando a noção de que o enraizamento eficiente pode ser alcançado sem o recurso a reguladores externos de crescimento.

Por outro lado, miniestacas de indivíduos mais jovens responderam melhor aos tratamentos (Figura 5), sugerindo a influência da idade da matriz na eficácia do enraizamento. As miniestacas apicais de matrizes juvenis apresentaram um percentual de sobrevivência superior em comparação com as miniestacas intermediárias. Isso pode ser atribuído à maior quantidade de hormônios naturais de enraizamento presentes nas estacas apicais ou à qualidade superior dos tecidos jovens nessa posição. Fachinello *et al.* (1994) indicam que estacas de ramos jovens possuem teor de auxina endógena suficiente para enraizamento devido à sua maior atividade meristemática.

Figura 5. Comparativo de enraizamento entre os diferentes tratamentos de miniestacas de *Astronium urundeuva*.



(A) Miniestacas apicais de matrizes adultas com e sem o uso de regulador. (B) Miniestacas intermediárias de matrizes adultas sem regulador. (C) Miniestacas intermediárias de matrizes adultas

com regulador. (D) Miniestacas apicais de matrizes juvenis sem regulador. (E) Miniestacas apicais de matrizes juvenis com uso de regulador. (F) Miniestacas intermediárias de matrizes juvenis sem regulador. (G) Miniestacas intermediárias de matrizes juvenis com regulador.

Fonte: o autor, 2024.

Além disso, as condições ambientais e de cultivo podem ter um papel crucial nesse processo. Situações de estresse específico podem prolongar a fase juvenil das plantas, enquanto ambientes que favorecem o crescimento vegetativo podem acelerar a transição da fase juvenil para adulta (Bond *et al.*, 2007). Embora sinais superficiais de sanidade prejudicada tenham sido observados nas matrizes adultas, a falta de análises detalhadas impede uma avaliação precisa do impacto nos resultados de enraizamento.

A análise fatorial 2x2 (Tabela 2) reforçou que a consistência do propágulo, relacionada com a posição exsiccada (Fator A), demonstraram um efeito estatisticamente significativo no enraizamento das estacas de *Astronium urundeuva* ($F = 4,546$, $p = 0,035$), isso sugere que a escolha entre miniestacas apicais e intermediárias tem um impacto claro no sucesso do enraizamento. Os dados do regulador (Fator B) também mostrou que, isoladamente, o AIB não apresenta influência positiva no enraizamento das miniestacas ($F = 1,796$, $p = 0,182$). A interação entre as fontes de propágulo e o regulador (A x B) não foi significativa (valor F de 2,095 e p-valor de 0,15), indicando que a eficácia do AIB não depende do tipo de estaca utilizada. Isso justificou o uso de contrastes ortogonais pela falta de interação e pela necessidade de entender melhor os efeitos do fator A.

Tabela 2. Resultados da análise de variância (ANOVA) para os efeitos das fontes de propágulo e regulador em *Astronium urundeuva*, utilizando um esquema fatorial 2x2.

Fonte de Variação	F	Valor p
Fator A (fontes de propágulo)	4,546	0,035*
Fator B (regulador)	1,796	0,182 ^{ns}
A x B	2,095	0,15 ^{ns}

Valores de p significativos ($p < 0,05$) são marcados com um asterisco (*).

Os contrastes ortogonais (Figura 3) indicaram que as miniestacas apicais juvenis tiveram um desempenho significativamente melhor em termos de enraizamento em comparação com as miniestacas intermediárias juvenis (p-valor 0,036).

Este resultado sugere que a posição da estaca na planta influencia significativamente a capacidade de enraizamento, possivelmente devido a diferenças na concentração de hormônios endógenos e nas características anatômicas dos tecidos (Hartmann, *et al.*, 2002).

Análises de outras espécies florestais, como *Melanoxylon brauna* Schott, indicaram que miniestacas apicais apresentaram resultados superiores em todas as variáveis avaliadas em comparação com miniestacas foliares, corroborando nossos resultados (Gibson *et al.*, 2023). Isso sugere que a utilização do AIB (Fator B) não é um fator determinante na sobrevivência das estacas dessa espécie.

Os tratamentos com uso de AIB não mostraram benefícios adicionais no enraizamento das miniestacas em comparação com os tratamentos sem regulador hormonal, independentemente da posição do propágulo, evidenciado pelo contraste (Tabela 3), refutando a hipótese (II). Isso pode ser explicado pela alta concentração natural de auxinas nos tecidos das plantas juvenis.

Tabela 3. Contrastes ortogonais e significância estatística para os tratamentos de enraizamento de estacas juvenis de *Astronium urundeuva*. Os contrastes foram calculados entre as diferentes consistências dos propágulos e entre tratamentos com e sem regulador de crescimento.

Contraste	Média do contraste	p-valor
(T5+T6) vs (T7+T8)	3,97	0,036*
(T6+T8) vs (T5+T7)	2,495	0,184 ^{ns}

Valores com asterisco (*) indicam significância estatística a nível de 5%.

Fonte: o autor, 2024.

As estacas de plantas juvenis geralmente possuem uma alta concentração de auxinas endógenas, hormônios responsáveis pelo enraizamento. Quando essas auxinas estão presentes em níveis elevados, a adição de mais auxina (como o AIB) pode não proporcionar um benefício adicional significativo, já que a presença natural suficiente de auxinas pode estar estimulando o máximo potencial de enraizamento, tornando a aplicação exógena de AIB desnecessária.

Outros estudos sobre espécies florestais, como os realizados por Xavier *et al.* (2003) e Stuepp *et al.* (2018), corroboram a ideia de que estacas juvenis têm maior potencial de enraizamento. Isso é atribuído à maior atividade fisiológica e ao menor grau de lignificação dos tecidos jovens. Dessa forma, os resultados do presente estudo estão alinhados com a literatura existente, destacando a importância da escolha da fonte de propágulo para garantir o sucesso do enraizamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As miniestacas de *Astronium urundeuva* apresentaram 15% de enraizamento.

Estacas de matrizes adultas não enraizaram.

Miniestacas apicais de matrizes juvenis demonstraram melhor desempenho em comparação às intermediárias.

A aplicação de regulador de crescimento (AIB) não apresentou benefícios adicionais significativos no enraizamento.

Os resultados sugerem a necessidade de estudos adicionais que explorem métodos alternativos para melhorar o desempenho do enraizamento na espécie.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, A. A.; FISHBEIN, M. Plant defense syndromes. **Ecology**, v. 87, p. 132-149, 2006.
- AI, G.; HUANG, R.; ZHANG, D.; et al. SIGH3.15 a member of the GH3 gene family regulates lateral root development and gravitropism response by modulating auxin homeostasis in tomato. **Plant Science**, v. 330, p. 111638, 2023.
- ALDOWIGH, F.; MATUS, R.; GAO, H. et al. MDF regulates both auxin-dependent and -independent pathways of adventitious root regeneration in Arabidopsis. **BioRxiv**, 2024.
- ALMEIDA, M. N. F. Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 458, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift Stuttgart**, v. 22, n. 6, 2013.
- ANDRADE, M. W. et al. Micropropagação da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, 2000.
- BAI, T.; et al. Auxin and its interaction with ethylene control adventitious root formation and development in apple rootstock. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020.
- BASTIN, J.-F. et al. The global tree restoration potential. **Science**, v. 365, n. 6448, 2019.
- BEZERRA, E. S. et al. Plantas medicinais para uso humano. In: BARACUHY, J. G. de V. et al (org.). **Plantas medicinais de uso comum no Nordeste do Brasil**. 2. ed. rev. Campina Grande PB: EDUFCG, p. 205, 2016.
- BOTTINO, M. et al. Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. **Scientific Reports**, v. 14, 2024.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo PR: **Embrapa Florestas**, p. 103, 2003.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 351-366, 2009.

DAHL, T. W.; ARENS, S. K. M. The impacts of land plant evolution on Earth's climate and oxygenation state – An interdisciplinary review. **Chemical Geology**, v. 547, p. 9-28, 2020.

DASKALAKIS, I.; BINIARI, K.; BOUZA, D. et al. The effect that indolebutyric acid (IBA) and position of cane segment have on the rooting of cuttings from grapevine rootstocks and from Cabernet franc (*Vitis vinifera* L.) under conditions of a hydroponic culture system. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p. 79-84, 2018.

DOMINGOS, F.; SILVA, M. Use knowledge and conservation of *Myracrodruon urundeuva*: A systematic review. **Res. Soc. Dev.**, v. 9, 2020.

DUTRA, T. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; SANTANA, R. C et al. Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 2, p. 321–329, 2012.

EDWARDS, D. P. et al. Upscaling tropical restoration to deliver environmental benefits and socially equitable outcomes. **Current Biology**, v. 31, p. 1326–1341, 2021.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. et al. Propagação de plantas frutíferas de clima temperado. 2. ed. **Pelotas**. Universidade Federal de Pelotas, 1995.

Flora do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> Acesso em: 02 jun. 2024

GIBSON, ELBYA L. et al. Molecular characterization of *Melanoxylon brauna* (Fabaceae) matrices established in a multiclonal minigarden. **Plant Gene**, v. 35, 2023.

GIRARDIN, C. A. J. et al. Nature-based solutions can help cool the planet – if we act now. **Nature**, v. 593, p. 191–194, 2021.

GONZAGA, T. W. C. et al. Crioconservação de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.) e baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.). **Revista Brasileira de Produção Agroindústria**, v. 5, n. 2, p. 145-154, 2003.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. Plant propagation: principles and practices. 8. ed. **Boston**, MA: Prentice-Hall, 2011.

IBAMA. Portaria 006/92-N. Lista oficial das espécies da flora ameaçadas de extinção. **Diário Oficial da União**, 15 jan. 1992.

IZADI, M.; SHAHSAVAR, A. R.; MIRSOLEIMANI, A. Relation between leaf and stem biochemical constituents and rooting ability of olive cuttings. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 231-242, 2016.

JAN, M.; MUHAMMAD, S.; JIN, W. et al. Modulating root system architecture: cross-talk between auxin and phytohormones. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024.

JUSTINO, S. T. P.; SILVA, R. A.; SOUSA, T. M. et al. Avaliação da qualidade de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão clonadas por miniestaquia com uso de extrato de *Cyperus rotundus* L. In: OLIVEIRA, R. J. (org.). **Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza - Volume 1**. 1. ed. Editora Científica Digital, p. 44–60, 2021.

KUPPUSSAMY, S.; RAMANATHAN, S.; SENGODAGOUNDER, S. et al. Minicutting - A powerful tool for the clonal propagation of the selected species of the *Eucalyptus* hybrid clones based on their pulpwood studies. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 2019.

LIMA, B. G. **Caatinga: espécies lenhosas e herbáceas**. Mossoró: Edufersa, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa – SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Plantarum, 1992. v. 1. 368 p.

MACHADO, M.; SOUZA, N.; GONÇALVES, G. et al. Propagação assexuada por estaquia de plantas jovens de *Ficus adhatodifolia* schott ex spreng. (moraceae) em função do tipo de estacas e diferentes concentrações de ácido indolbutírico. **Desenvolvimento Rural e Processos Sociais nas Ciências Agrárias**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 1ª ed. São Paulo: D&Z, 2004. 413 p.

MASON, C. M.; MCGAUGHEY, S. E.; DONOVAN, L. A. Ontogeny strongly and differentially alters leaf economic and other key traits in three diverse *Helianthus* species. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 4089-4099, 2013.

MEINZER, F.; LACHENBRUCH, B.; DAWSON, T. (Eds.). Mudanças relacionadas ao tamanho e à idade na estrutura e função das árvores. **Fisiologia da árvore**. Springer, 2011.

OLIVEIRA, T. P. de F. de; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R. et al. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

PELL, S. K.; MITCHELL, J. D.; MILLER, A. J. et al. Anacardiaceae. In: KUBITZKI, K. (ed.). The families and genera of vascular plants. Flowering plants. Eudicots. Sapindales, Curcubitales, Myrtales. Vol. X. **Springer**, Berlin, p. 7-50; 2011.

POORTER, L.; BONGERS, F. BONGERS, F. J. M. Architecture of 54 moist-forest tree species: Traits trade-offs and functional groups. **Ecology**, v. 89, n. 3, p. 1199-1209, 2008.

PRATT, R. B.; JACOBSEN, A. L.; EWERS, F. W.; DAVIS, S. D. Relationships among xylem transport biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. **New Phytologist**, v. 174, n. 3, p. 787-798, 2007.

REICH, P. B.; ELLSWORTH, D. S.; WALTERS, M. B. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: Evidence from within and across species and functional groups. **Functional Ecology**, v. 11, n. 3, p. 208-218, 1997.

SÁ, R. A.; GOMES, F. S.; NAPOLEÃO, T. H. et al. Atividades antibacterianas e antifúngicas do cerne de *Myracrodruon urundeuva*. **Ciência e Tecnologia da Madeira**, v. 43, n. 1-2, p. 85-95, 2009.

SANTOS, J. de P. dos; DAVIDE, A. C.; TEIXEIRA, L. A. F. et al. Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 293–301, 2011.

SENIGALIA, R. L. C.; KRATZ, D.; COELHO, M. de F. B. C. et al. Restrição hídrica em teste de sanidade de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49617-49627, 2020.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010**. Brasília, 2010.

SILVA-LUZ, C. L.; OLIVEIRA, J. R.; PEREIRA, J. A. et al. **Anacardiaceae na Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, L. L. H. da. Avaliação das características dendométricas, físicas, químicas e energéticas da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e da leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). 2014. 70 f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)**, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2014.

SIMBERLOFF, D.; VON HOLLE, B. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? **Biological Invasions**, v. 1, n. 1, p. 21-32, 1999.

STEPPE, K.; STERCK, F.; DESLAURIERS, A. Diel growth dynamics in tree stems: linking anatomy and ecophysiology. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 6, p. 335-343, 2015.

STUEPP, C. A.; WENDLING, I.; XAVIER, A. et al. Vegetative propagation and application of clonal forestry in Brazilian native tree species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 985-1002, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M. et al. **Plant Physiology and Development**. 7th Edition. New York: Oxford University Press, 2023.

THIESEN, L. A.; ALTISSIMO, B. S.; HOLZ, E. et al. Technical feasibility of minicutting of different portions of the branch to produce clonal seedlings of *Aloysia citrodora*. **Comunicata Scientiae**, v. 13, 2022.

VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. et al. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste**. Brasília DF: MMA, 2018.

WATERS, C. N.; TURNER, S. D. Defining the onset of the Anthropocene. **Science**, v. 378, n. 6621, p. 706-708, 2022.

WRIGHT, I. J.; REICH, P. B. WESTOBY, M.; ACKERLY, D. D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F. et al. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, v. 428, p. 821–827, 2004.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

YAMAMOTO, C.; PEREIRA, E.; MATTOSO, L. et al. Slow release fertilizers based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 10-19, 2016.