

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE BAIXO CUSTO EM
ESPÉCIES AMAZÔNICAS: CONCENTRAÇÕES DA
SOLUÇÃO NUTRITIVA E TIPOS DE MINIESTACAS**

RAFAEL BARBOSA DIÓGENES LIENARD

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RIO BRANCO-AC, BRASIL
JULHO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE BAIXO CUSTO EM
ESPÉCIES AMAZÔNICAS: CONCENTRAÇÕES DA
SOLUÇÃO NUTRITIVA E TIPOS DE MINIESTACAS**

RAFAEL BARBOSA DIÓGENES LIENARD

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Paulo André Trazzi

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JULHO DE 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ- REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL - PPGCIFLOR



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE RAFAEL BARBOSA DIÓGENES LIENARD, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO, STRICTO SENSU, EM CIÊNCIA FLORESTAL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE.

Às treze horas do dia trinta do mês de julho de 2025, realizou-se, de forma online, por meio da plataforma Google Meet, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação, intitulada: “**Propagação clonal de baixo custo em espécies amazônicas: concentrações da solução nutritiva e tipos de miniestacas**”, de autoria do mestrando **Rafael Barbosa Diógenes Lienard**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, da Universidade Federal do Acre - Ufac, em nível de Mestrado. Na ocasião, a Banca Examinadora esteve constituída pelos membros: **Prof. Dr. Paulo André Trazzi (Presidente - orientador - CCBN - Ufac); Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira (Membro Externo - Ufes); Dr. Emanuel França Araújo (Membro Externo - Secretaria do Meio Ambiente, Bom Jesus-PI)**. Logo após a exposição oral, houve arguição pelos examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, o discente foi considerado “**aprovado**” pela banca examinadora. E, ao término, foi lavrada a presente Ata, que será assinada pelos avaliadores.

Documento assinado digitalmente



PAULO ANDRE TRAZZI
Data: 05/08/2025 18:15:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo André Trazzi
(Presidente - orientador - CCBN - Ufac)

Documento assinado digitalmente



MARCOS VINICIUS WINCKLER CALDEIRA
Data: 06/08/2025 09:36:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
(Membro Externo - Ufes)

Documento assinado digitalmente



EMANUEL FRANCA ARAUJO
Data: 06/08/2025 14:01:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Emanuel França Araújo
(Membro Externo - Secretaria do Meio Ambiente, Bom Jesus-PI)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- L719p Lienard, Rafael Barbosa Diógenes, 2001 -
Propagação clonal de baixo custo em espécies amazônicas:
concentrações da solução nutritiva e tipo de miniestacas / Rafael
Barbosa Diógenes Lienard; orientador: Prof. Dr. Paulo André
Trazzi. – 2025.
28 f. : il.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre,
Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal. Rio Branco,
2025.
Inclui referências bibliográficas.
1. Plantas – Reprodução (Clone). 2. Plantas - Nutrição. 3.
Florestas tropicais – Cultivo. I. Trazzi, Paulo André (orientador). II.
Título.

CDD: 634

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os familiares e amigos que me apoiaram nessa jornada. Em especial, à minha mãe, Margarete Barbosa Diógenes; ao meu irmão Lucas Barbosa Diógenes; à minha companheira, Annanda Souza de Campos; ao meu orientador, Paulo André Trazzi; e ao grupo de pesquisa SILVIPRO.

Expresso minha sincera gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa que possibilitou a realização desta titulação. Estendo meus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Acre (FAPAC – Termo de Outorga nº 006/2023) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Processo nº 408601/2023-0) pelo apoio financeiro destinado ao desenvolvimento deste projeto de pesquisa e de outras iniciativas vinculadas. Agradeço, ainda, ao Viveiro da Floresta (SEMA-AC), e ao Parque Zoobotânico (UFAC) pela cessão de material vegetativo, equipamentos e estrutura física.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
2.1 Área de estudo.....	5
2.2 Fluxograma experimental.....	5
2.3 Minijardim clonal.....	6
2.4 Enraizamento de miniestacas	8
2.5 Análises estatísticas	10
3. RESULTADOS	10
3.1 Minijardim clonal.....	10
3.2 Enraizamento de miniestacas	13
4. DISCUSSÃO.....	17
5. CONCLUSÃO.....	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

Propagação clonal de baixo custo em espécies amazônicas: concentrações da solução nutritiva e tipos de miniestacas

Rafael Barbosa Diógenes Lienard^{1*}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

*Autor para correspondência: rafael.lienard@sou.ufac.br

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência da concentração da solução nutritiva nos minijardins seminais e dos diferentes tipos de miniestacas para a produção clonal de baixo custo de mudas clonais amazônicas arbóreas. O trabalho foi realizado no viveiro situado no Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre, localizada na Amazônia Sul-Occidental brasileira, no município de Rio Branco – Acre. O minijardim clonal foi conduzido em ambiente protegido, com tela de sombreamento a 50%, solo coberto por rãfia e brita, bancadas suspensas, implantado em vasos com capacidade volumétrica de 5L. A fertirrigação foi realizada manualmente via substrato, com intensidade de 150 ml/3 dias, nas intensidades 50, 100 e 200% da solução nutritiva base. As miniestacas basais e apicais foram enraizadas em miniestufa de baixo custo, construída com sistema fechado de cano PVC (policloreto de vinila) e lona transparente, com nebulização constante. Após 80 dias em casa de vegetação, as mudas foram conduzidas à aclimação, onde permaneceram por 20 dias, e em seguida para a rusticificação por 60 dias, sendo a avaliação final realizada aos 160 dias pós-estaqueamento. A técnica de miniestaquia demonstrou viabilidade para a produção de mudas clonais em todas as espécies submetidas ao enraizamento — *Swietenia macrophylla* (mogno), *Handroanthus roseoalbus* (ipê-branco), *Handroanthus impetiginosus* (ipê-roxo), *Cedrella fisillis* (cedro), e *Amburana acreana* (cerejeira) — com destaque para mogno, ipê-branco e ipê-roxo que apresentaram produção de biomassa consistente e taxas de sobrevivência superiores a 90%. Dessa forma, com base nos resultados observados no presente estudo, é possível inferir que a produção clonal de espécies florestais amazônicas via miniestaquia é uma alternativa viável aos métodos de propagação tradicionais.

Palavras-chave: Propagação Clonal, Miniestaquia, Nutrição de plantas, Silvicultural tropical, Espécies amazônicas.

ABSTRACT

Low-cost clonal propagation in Amazonian species: nutrient solution concentrations and mini-cutting types

The objective of this study was to evaluate the influence of nutrient solution concentration in seminal minigardens and different types of cuttings on the low-cost clonal propagation of Amazonian tree seedlings. The experiment was conducted at the nursery located in the Zoobotanical Park of the Federal University of Acre, situated in the Southwestern Amazon, in the municipality of Rio Branco, Acre, Brazil. The clonal minigarden was established in a protected environment, covered with 50% shade cloth, raffia and gravel ground cover, and suspended benches, using 5-liter pots. Fertigation was manually applied to the substrate at a rate of 150 mL every three days, with nutrient solution concentrations of 50, 100, and 200% of the standard formulation. Basal and apical cuttings were rooted in a low-cost mini-greenhouse, constructed as a closed system using PVC (polyvinyl chloride) pipes and transparent plastic sheeting, with continuous misting. After 80 days in the greenhouse, the seedlings were transferred for acclimatization (20 days), followed by a 60-day hardening period. Final evaluations were conducted 160 days after cutting. The mini-cutting technique proved effective for producing clonal seedlings in all species subjected to rooting — *Swietenia macrophylla* (mahogany), *Handroanthus impetiginosus* (purple ipe), *Handroanthus roseoalbus* (white ipe), *Cedrella fisillis*, and *Amburana acreana* — among which mahogany, white ipe and purple ipe showing the most promising results in terms of biomass production and survival rates above 90%. Thus, based on the findings of this study, clonal propagation of Amazonian forest species via mini-cutting represents a viable alternative to traditional propagation methods.

Key words: Clonal Propagation; Mini-Cutting; Plant Nutrition; Tropical Silviculture; Amazonian Species.

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica, a maior floresta tropical do mundo, abriga um ecossistema megadiverso, dinâmico e altamente complexo, responsável por uma ampla gama de serviços ecossistêmicos essenciais em escala global (PNUMA, 2008). Entretanto, às mudanças antropogênicas no uso da terra e no clima, ameaçam desproporcionalmente espécies raras e, portanto, a riqueza global de árvores (COOPER et al., 2024).

Diante de perturbações ambientais, as espécies podem responder por meio de adaptação, migração ou, na ausência de mecanismos eficazes, extinção (FEELEY et al., 2012). O processo de adaptação envolve mudanças nas interações planta-polinizador-dispersor, desencadeando alterações fenológicas que impactam o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das espécies. Como consequência, uma redução na oferta natural de sementes, comprometendo a diversidade genética e as densidades populacionais. (BAWA; DAYANANDAN, 1998; MUNIZ et al., 2022).

Somado a isso, metas de reflorestamento em escala nacional e internacional, como o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares assumido junto ao Acordo de Paris em 2015, o qual recentemente ganhou uma rota estratégica por meio do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (BRASIL, 2024), aumentam a demanda por mudas nativas, cuja produção ainda depende exclusivamente da coleta de sementes (SILVA et al., 2017).

Segundo dados do Observatório da Restauração Florestal, dos 153 mil hectares em processo de restauração no Brasil, apenas cerca de 15 mil estão localizados na Amazônia (ORR, 2025), o que pode indicar uma concentração limitada de iniciativas no bioma e sinalizar uma pressão eminente sobre o setor de produção de mudas, considerando que o prazo para o cumprimento do compromisso internacional de reflorestamento se encerra em 2030.

Dado a necessidade de atender essa crescente demanda por mudas nativas, é fundamental a condução de experimentos no intuito viabilizar alternativas à propagação por sementes. Fornecendo assim, subsídio para elaboração de um protocolo que venha a padronizar e otimizar a produção de mudas amazônicas florestais clonais, de forma que promova a utilização de uma maior gama de espécies nativas amazônicas em reflorestamentos.

Dentre as diversas formas de propagação vegetativa, a miniestaquia tem tido destaque pela sua eficiência, se caracterizando por uma variação da técnica de estaquia, desenvolvida a partir da década de 1990, que apresenta aprimoramentos metodológicos que

permitem a otimização do enraizamento das mudas, principalmente para materiais de difícil propagação (XAVIER et al., 2013).

Dessa forma, para a condução da miniestaquia é primordial avaliar o tipo de propágulo que será utilizado, visto que a possibilidade de enraizamento de uma maior gama de materiais vegetativos está associada ao melhor aproveitamento das brotações colhidas, aumentando a produtividade do minijardim. Assim, a miniestaca é classificada conforme sua posição de coleta no ramo da minicepa (apicais, intermediárias ou basais), uma vez que há um gradiente de juvenilidade em direção à base e no conteúdo de carboidrato ao longo da brotação, o que influencia na emissão do sistema radicular (OLIVEIRA et al., 2016).

Neste sentido, a suplementação nutricional das minicepas é fundamental para o fornecimento de propágulos com alto vigor (BORELLI et al., 2024). Contudo, na elaboração do minijardim, por se tratar de um sistema semifechado, o controle da aplicação de nutrientes nas minicepas deve ser rigoroso, uma vez que há poucas perdas por lixiviação, desta forma, evitando desordens nutricionais (ALFENAS et al., 2009).

Apesar de estudos recentes observarem a propagação vegetativa por miniestaquia ser testada com algum sucesso em espécies florestais nativas (FREIRE et al., 2020; OLIVERIA et al., 2016; SANT'ANA et al., 2023), ainda há carência de um maior arcabouço teórico para possibilitar a elaboração de um protocolo de produção de mudas por miniestacas em espécies amazônicas. Podendo assim, fornecer alternativas viáveis para produção de mudas florestais, visando possibilitar a utilização de uma maior gama de espécies nativas amazônicas em reflorestamentos.

Assim, pode ser inferida a hipótese de que a interação entre a maior nutrição das minicepas e o tipo de miniestaca, modulam a sobrevivência nas miniestacas lenhosas. Dessa forma, a fertirrigação do minijardim, promovendo emissão de brotações mais vigorosas, uniformizará o desenvolvimento vegetativo entre os diferentes tipos de miniestacas, aumentando significativamente a produtividade do viveiro.

Sendo também testada a hipótese de que o processo de clonagem via miniestaquia em espécies amazônicas pode ser conduzido com sistemas alternativos, na ausência de estruturas permanentes onerosas e altamente tecnológicas. Nesse sentido, busca-se permitir a replicabilidade para pequenos viveiros e produtores independentes, visando atender ao crescente mercado de mudas nativas.

Nesse contexto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência da concentração da solução nutritiva nos minijardins seminais e dos diferentes tipos de miniestacas para a produção clonal de baixo custo de mudas clonais amazônicas arbóreas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi realizado no viveiro situado no Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre, localizada no município de Rio Branco – Acre (Figura 1). O clima predominante do local, de acordo com a classificação de Köppen, caracteriza-se por Am (clima tropical chuvoso de monção) (ALVARES et al., 2013), sendo a etapa experimental da pesquisa conduzida durante o período chuvoso da região (outubro a março).

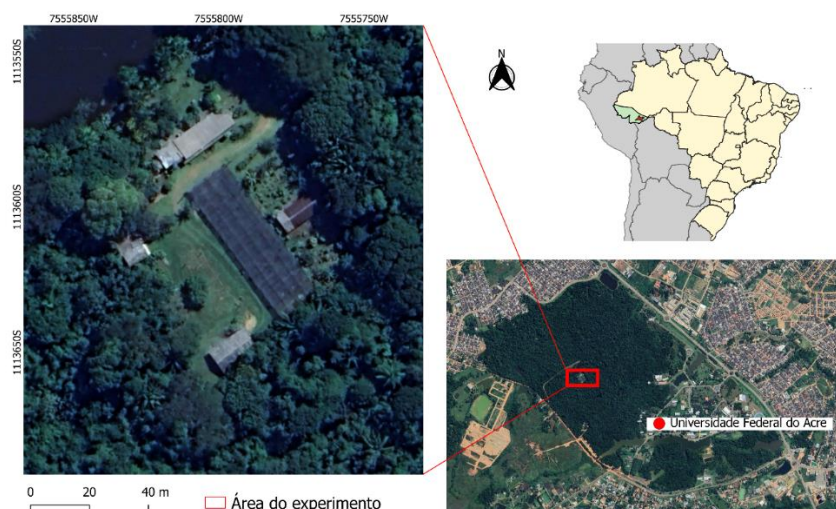


Figura 1. Localização do Viveiro do Parque Zoobotânico, área em que o experimento foi conduzido. Datum SIRGAS 2000, base cartográfica IBGE 2024, imagens: *Google Satélite®*.

2.2 Fluxograma experimental

Para obtenção dos dados a serem avaliados, o experimento seguiu a sequência de etapas demonstradas na Figura 2.

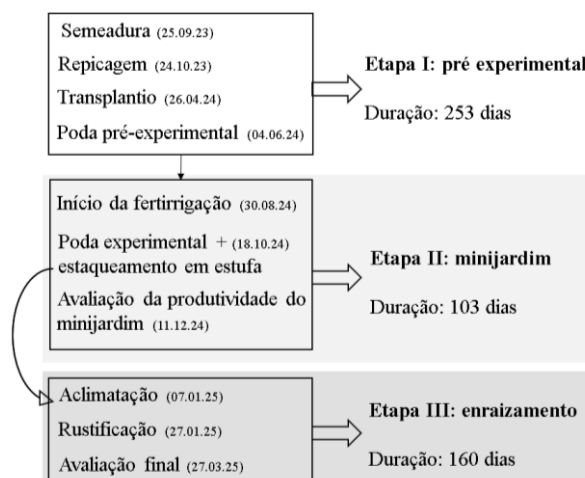


Figura 2. Fluxograma contendo as etapas da condução do minijardim, enraizamento de miniestacas e rustificação de mudas de espécies amazônicas arbóreas.

2.3 Minijardim clonal

O experimento foi conduzido para mudas de espécies amazônicas arbóreas não-domesticadas (com pouco ou nenhum volume de pesquisa silvicultural associada), sendo sua definição realizada mediante a: disponibilidade de propágulos viáveis em quantidade suficiente para compor os minijardins seminais (100 mudas por espécie); alta demanda comercial, medicinal e/ou cultural na região; dificuldade de produzir mudas a partir de sementes (coleta, dormência, armazenamento).

O minijardim clonal, de origem seminal, foi conduzido em ambiente protegido, solo coberto por ráfia e brita, bancadas suspensas, implantado em vasos com capacidade volumétrica de 5 L (20 cm de diâmetro na parte superior), preenchidos com substrato comercial florestal e areia lavada, na proporção 3:1 (volume:volume), onde as mudas de cada espécie foram implantadas, com a finalidade de se obter três minicepas por vaso.

As sementes foram coletadas com a marcação das árvores matrizes selecionadas, considerando a fenologia da espécie, o estado sanitário e macromorfológico das árvores, e a qualidade das sementes produzidas. A representatividade genética de cada espécie selecionada foi respeitada, tentando-se amostrar o maior número de matrizes por espécie, seguindo os preceitos de Vencovsky (1987). Em caso de dificuldade de coleta de sementes, a aquisição foi realizada por meio de parceiros ou produtores idôneos.

As mudas foram produzidas no viveiro do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre, em sombrite 50% e duas irrigações diárias. Para garantir uma germinação eficiente, as sementes foram tratadas de acordo com suas especificidades em relação ao armazenamento, beneficiamento e/ou quebra de dormência (BRASIL, 2013). Após a germinação, as plântulas foram repicadas em tubetes plásticos de 180 cm³, contendo substrato comercial florestal (*Pilar Produtos Agroecológicos*®).

Ao atingirem altura média de 15 cm, as mudas foram transplantadas para os vasos (5 L) para compor o minijardim clonal, em espaçamento de crescimento 133 cm² por minicepa (3 minicepas por vaso). As mudas foram decepadas, a uma altura de 10 cm da base, após 40 dias de aclimação nos vasos. O minijardim foi composto por 81 minicepas por espécie, onde foram efetuadas fertirrigações com macro e micronutrientes, visando o crescimento vegetativo.

As soluções nutritivas foram baseadas nos resultados de Barbosa Filho et al. (2017). Desta forma, a solução nutritiva base foi formulada a partir dos sais solúveis (em mg. L⁻¹): monoamônio fosfato (40); sulfato de magnésio (133); nitrato de potássio (219); sulfato de

amônio (123); nitrato de cálcio (200); ácido bórico (5,88); sulfato de manganês (5,33); molibdato de sódio (0,05); sulfato de cobre (0,4); sulfato de zinco (5); sulfato de ferro (33). Os tratamentos do fator A “solução nutritiva” foram constituídos por 50%, 100% e 200% em relação a concentração da solução nutritiva base (Tabela 1). O delineamento experimental adotado no minijardim foi em blocos casualizados (DBC), 9 plantas por parcela, 3 concentrações da solução nutritiva base e 3 repetições.

Tabela 1. Concentração de sais solúveis nas três soluções nutritivas adotadas nos diferentes níveis de intensidade da fertirrigação do minijardim.

Sal solúvel (mg/L)	50%	100%	200%
Monoamônio fosfato (MAP) – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	20,0	40,0	80,0
Sulfato de magnésio – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	66,5	133,0	266,0
Nitrato de potássio – KNO_3	109,5	219,0	438,0
Sulfato de amônio – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	61,5	123,0	246,0
Nitrato de cálcio – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	100,0	200,0	400,0
Ácido bórico – H_3BO_3	2,9	5,9	11,8
Sulfato de manganês – $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,7	5,3	10,7
Molibdato de sódio – $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,0	0,1	0,1
Sulfato de cobre – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,2	0,4	0,8
Sulfato de zinco – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2,5	5,0	10,0
Sulfato de ferro – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	16,5	33,0	66,0

A fertirrigação foi realizada manualmente via substrato, com intensidade definida baseando-se na capacidade de campo do substrato, sendo essa de 150 ml a cada três dias. A aplicação dos tratamentos foi iniciada com as cepas já formadas (2 meses após o plantio) e as avaliações foram realizadas 100 dias após o início da aplicação dos tratamentos.

Conforme os critérios estabelecidos, estão listadas na Tabela 2 as espécies que foram produzidas no minijardim clonal, assim como, as selecionadas para serem enraizadas em miniestufa, considerando o comprimento das brotações, a relevância para a arborização e setor madeireiro, além das limitações estruturais da área experimental (espaço na estrutura de enraizamento).

Tabela 2. Cenário do minijardim: espécies produzidas, localização das matrizes, estágio de aquisição dos propágulos e quais espécies foram conduzidas ao enraizamento.

N	Espécie	Localização da matriz/muda	Tipo de propágulo	Enraizamento
1	Ipê-branco (<i>Handroanthus roseoalbus</i> (Ridl.) Mattos)	Projeto de Assentamento Benfica	Semente	x
2	Ipê-roxo (<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos)	Projeto de Assentamento Benfica	Semente	x
3	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.)	Projeto de Assentamento Benfica	Semente	-
4	Cedro (<i>Cedrella fisillis</i> Vell.)	Projeto de Assentamento São Gabriel	Semente	x
5	Pereiro (<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.)	Projeto de Assentamento Benfica	Semente	-
6	Copaíba (<i>Copaifera paupera</i> (Herzog) Dwyer)	Parque Zoobotânico	Muda	-
7	Oiti (<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch)	Campus UFAC Rio Branco	Muda	-
8	Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	Parque Zoobotânico	Muda	x
9	Cerejeira (<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.)	Viveiro da Floresta	Muda	x
10	Mulateiro (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) K.Schum.)	Viveiro da Floresta	Muda	-

Dessa forma, sendo avaliado de forma descritiva a capacidade de rebrota das minicepas, por meio da contagem do número total de brotos produzidos. Além da quantificação da produção de miniestacas considerando o aproveitamento máximo das brotações, estas variáveis foram integradas e analisadas a partir da seguinte equação (1):

$$Y_{5cm} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{Hi}{5} \right) / U.E \dots \dots \dots (1)$$

Em que, Y5cm: produção de miniestacas com tamanho mínimo para serem conduzidas ao enraizamento; Hi: comprimento da i-ésima brotação; N: número total de brotações. 5: tamanho mínimo de miniestaca adotado; U.E: Unidade Experimental ou número de plantas por parcela adotado.

2.4 Enraizamento de miniestacas

Com a produção das brotações, miniestacas de cinco espécies foram coletadas e classificadas de acordo com a sua posição longitudinal no caule (basal e apical), formando assim os tratamentos para o Fator B “tipo de miniestaca”, conforme descrito por Hartmann et al. (2017). A coleta das miniestacas, em função de cada tratamento, foi realizada após 60 dias do início da aplicação do Fator A, por meio da obtenção das brotações emitidas pelas minicepas. Este processo foi conduzido utilizando uma tesoura de poda higienizada com álcool (70% v:v), no início da manhã, objetivando a redução da transpiração das miniestacas.

O processo de enraizamento das miniestacas foi realizado em casa de vegetação, do tipo miniestufa de baixo custo, com estrutura PVC (Policloreto de Vinila) em sistema fechado com lona transparente (200 micras), promovendo condições de elevada temperatura ($\approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) e umidade ($>90\%$), montada e instalada na área do experimento (Figura 3). O sistema de irrigação foi de aspersão, automatizado por temporizador e motobomba, com intervalos de irrigação de um minuto a cada hora. Essas condições foram adotadas para garantir níveis elevados de temperatura e umidade, favoráveis ao processo de enraizamento (XAVIER et al., 2013). O delineamento experimental utilizado na casa de vegetação foi em blocos ao acaso (DBC), com 3 repetições e 8 plantas por parcela, em esquema fatorial duplo, com interação entre 3 soluções nutritivas (fator A) e 2 tipos de miniestaca (fator B).



Figura 3. Estrutura da miniestufa de baixo custo elaborada. Estrutura montada revestida com plástico (A), esqueleto em cano PVC (B), interior da miniestufa (C).

As miniestacas permaneceram em casa de vegetação por 80 dias. Constatada a sobrevivência e enraizamento, foram destinadas à aclimação, em casa de sombra (sombrite 50%), onde ficaram por mais 20 dias. Sendo então, destinadas à rustificação a pleno sol, onde permaneceram por mais 60 dias.

As miniestacas foram avaliadas quanto à sobrevivência pós-casa de vegetação e pós-rustificação. Em seguida, foi determinada a biomassa seca das mudas aos 160 dias após o estaqueamento, sendo realizado o índice massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) considerando o valor ótimo 2:1 ou 2,0 (CALDEIRA et al., 2008; GOMES e PAIVA, 2011). A secagem do material vegetal foi realizada em estufa com circulação de ar

forçada a 60 °C, até a obtenção de massa constante. A pesagem foi realizada em balança de precisão (0,01g).

2.5 Análises estatísticas

As espécies foram avaliadas de forma independente. A variável porcentagem de sobrevivência foi transformada pela função “ $y' = \arcsen(y/100)$ ”, objetivando torná-las mais próximas de uma distribuição normal (SOKAHL e ROHLF, 1995)

Os resultados produzidos pelos tratamentos foram submetidos à análise de homogeneidade de variância (Bartlett, $p < 0,05$), e de normalidade dos erros (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$). Atendidas as pressuposições, foi realizada a análise de variância ($p < 0,05$) com base no delineamento fatorial duplo em blocos casualizados (DBC), e, havendo diferença significativa, foi aplicado o teste de médias (Tukey, $p < 0,05$) para comparação entre as médias. Os testes de homogeneidade de variância e de normalidade dos erros, e as análises de variância e os testes de médias foram realizados no programa R Studio versão setembro de 2024.

3. RESULTADOS

3.1 Minijardim clonal

Conforme observado na Tabela 3, as maiores concentrações de solução nutritiva resultaram em aumento significativo na produção de miniestacas em seis das dez espécies avaliadas, sendo estas: cedro, cerejeira, ipê-branco, ipê-roxo, oiti e mulateiro. Esse comportamento indicou uma resposta positiva e eficiente dessas espécies à intensificação da fertirrigação com macro e micronutrientes, uma vez que aos 100 dias de aplicação da solução, efeitos estatisticamente significativos puderam ser identificados.

Tabela 3. Produção de miniestacas por minicepa (miniestaca/minicepa/mês) sob diferentes concentrações de solução nutritiva base (SNB%), em minijardim de espécies amazônicas.

Espécie	Concentração da SNB (%)	Miniestacas/minicepa/mês
Cedro (<i>Cedrella fisillis</i> Vell.)	50	1,15 b
	100	1,19 b
	200	2,10 a
Cerejeira (<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.)	50	3,31 b
	100	3,98 a
	200	4,03 a
Copaíba (<i>Copaifera paupera</i> (Herzog) Dwyer)	50	1,02 a
	100	1,08 a
	200	1,36 a
Ipê-branco (<i>Handroanthus roseoalbus</i> (Ridl.) Mattos)	50	1,79 b
	100	2,28 b
	200	3,92 a
Ipê-roxo (<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos)	50	1,44 b
	100	1,52 b
	200	1,95 a
Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.)	50	0,96 a
	100	0,93 a
	200	1,03 a
Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	50	1,20 a
	100	1,18 a
	200	1,31 a
Mulateiro (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) K.Schum.)	50	2,85 b
	100	3,32 b
	200	4,03 a
Oiti (<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch)	50	0,91 b
	100	1,14 ab
	200	1,26 a
Pereiro (<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.)	50	0,47 a
	100	0,67 a
	200	0,86 a

*Cada espécie foi analisada independentemente, diferentes letras nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Foi observado uma tendência de aumento na produtividade com a aplicação da solução nutritiva mais concentrada, ainda que, em alguns casos, não tenham sido constatadas diferenças estatisticamente significativas. Dessa forma, o efeito da aplicação da solução nutritiva no crescimento das brotações é visualmente exemplificado em minicepas de mulateiro na Figura 4.

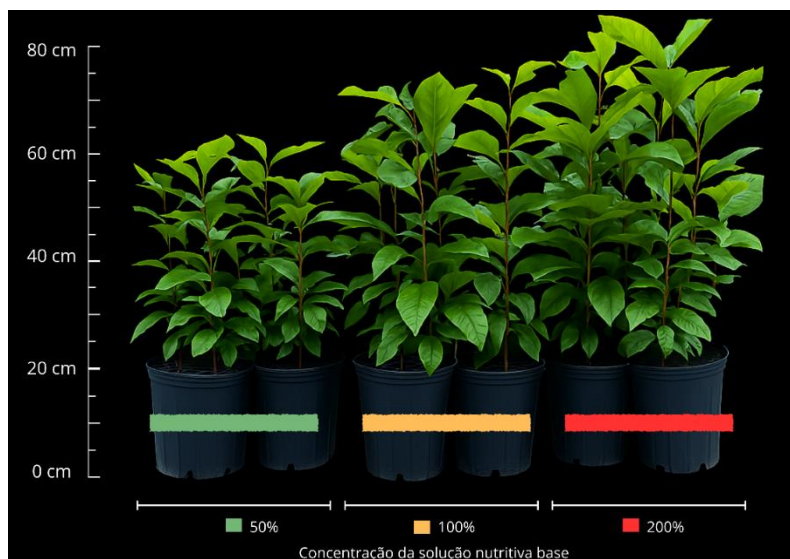


Figura 4. Efeito de diferentes concentrações de solução nutritiva no crescimento de brotações 90 dias após a primeira poda em minicepas de mulateiro.

Dessa forma, entre as dez espécies avaliadas, aquelas que apresentaram capacidade de rebrota significativamente superior ao número inicial de minicepas foram: oiti, copaíba e mulateiro (Figura 5). Esse resultado indica que, com um sistema de manejo adaptado e o desenvolvimento de protocolos específicos de produção, possivelmente essas espécies apresentariam uma alta produtividade de miniestacas.

Entretanto, a velocidade de crescimento das brotações se destacou como uma característica fundamental, evidenciando diferentes aptidões das espécies avaliadas para se tornarem minicepas. Dentre elas, as espécies oiti e copaíba, apresentaram uma alta emissão de brotos, entretanto o seu comprimento reduziu a produção de miniestacas. Já o mulateiro e a cerejeira demonstraram alto potencial para a produção de miniestacas, apresentando a maior emissão e aproveitamento de brotações respectivamente (Figura 5).

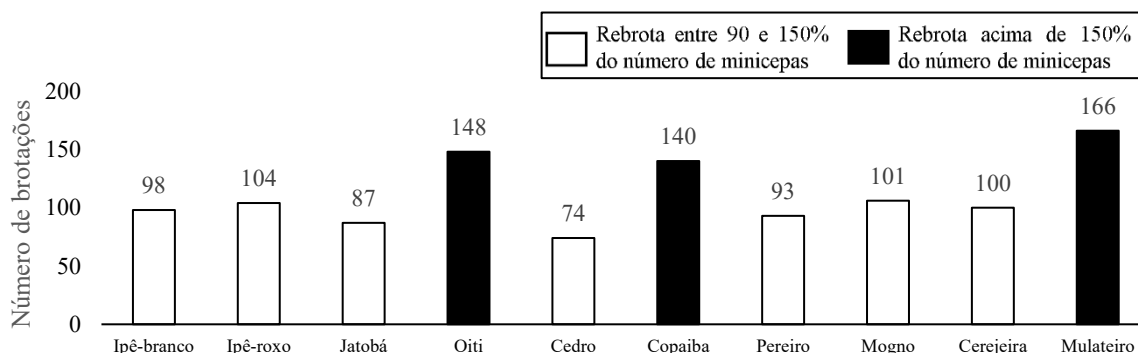


Figura 5. Capacidade de rebrota após decepa observada em 81 mudas de espécies amazônicas arbóreas com aproximadamente 1 ano de idade, cultivadas na Amazônia Sul-Occidental, Acre, Brasil.

Conforme o observado, entre as espécies avaliadas, as que mais produziram brotações foram: mulateiro, oiti e copaíba (Figura 3). Já as que mais produziram miniestacas foram: cerejeira, mulateiro e ipê-branco (Tabela 2). Entretanto, devido a restrições logísticas relacionadas ao espaço experimental e ao cronograma da pesquisa, apenas 50% das espécies presentes no minijardim foram conduzidas à etapa de enraizamento, dessa forma priorizando a integridade estatística assegurando um número satisfatório de observações.

Nesse sentido, seguiram ao enraizamento em estufa cinco (5) espécies: cedro, cerejeira, mogno, ipê-branco e ipê-roxo. Sendo estas selecionadas com base em sua elevada demanda comercial madeireira e/ou para arborização e paisagismo, características diretamente associadas à pressão no setor de produção de mudas e a necessidade de desenvolvimento de um protocolo silvicultural específico.

3.2 Enraizamento de miniestacas

A partir das análises estatísticas não foram constatadas interações entre os Fatores A (concentração da solução nutritiva base – SNB%) e B (tipo de miniestaca – apical ou basal) na sobrevivência pós-casa de vegetação e pós-rustificação, sendo então avaliado o efeito simples dos tratamentos. Conforme observado na Tabela 4, o cedro foi a única espécie que apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, especificamente para o Fator B (tipos de miniestacas) pós-casa de vegetação.

Tabela 4. Efeito da concentração da solução nutritiva e tipo de miniestaca na sobrevivência pós-casa de vegetação e rustificação, em espécies amazônicas arbóreas cultivadas na Amazônia Sul-Occidental, Acre, Brasil.

Espécie	Tratamentos (% da solução nutritiva x tipo de miniestaca)	Sobrevivência pós- casa de vegetação (%)	Sobrevivência pós- rustificação (%)
Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	50 x apical	95	90
	100 x apical	100	95
	200 x apical	100	81
	50 x basal	100	90
	100 x basal	100	90
	200 x basal	100	100
Sobrevivência total		99	91
Ipê-branco (<i>Handroanthus roseoalbus</i> (Ridl.) Mattos)	50 x apical	92	96
	100 x apical	96	96
	200 x apical	96	88
	50 x basal	83	71
	100 x basal	96	96
	200 x basal	100	100
Sobrevivência total		94	91
Ipê-roxo (<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos)	50 x apical	100	100
	100 x apical	100	96
	200 x apical	96	92
	50 x basal	100	100
	100 x basal	100	88
	200 x basal	96	83
Sobrevivência total		99	93
Cedro (<i>Cedrella fisillis</i> Vell.)	50 x apical	78 a	42
	100 x apical	91 a	67
	200 x apical	91 a	71
	50 x basal	56 b	13
	100 x basal	72 b	38
	200 x basal	56 b	33
Sobrevivência total		74	45
Cerejeira (<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.)	50 x apical	83	58
	100 x apical	79	29
	200 x apical	92	63
	50 x basal	79	42
	100 x basal	88	71
	200 x basal	71	25
Sobrevivência total		82	48

*Cada espécie foi analisada independentemente, diferentes letras nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$); a ausência de letras indica que os valores não diferem estatisticamente.

De maneira geral, as espécies avaliadas apresentaram um resultado superior a 70% para a sobrevivência pós-casa de vegetação, indicando que o sistema de miniestufa elaborado é altamente eficiente para a produção clonal das espécies. Em seguida, as miniestacas sobreviventes permaneceram em casa de sombra por vinte (20) dias, sendo posteriormente conduzidas à área de rustificação, onde permaneceram por sessenta (60) dias, para que então, conforme descrito na metodologia, fosse feita a avaliação final das mudas clonais.

A metodologia de miniestaquia adotada mostrou-se eficaz para a produção de mudas de mogno, ipê-roxo e ipê-branco (Figura 6). Essas espécies apresentaram taxas médias de sobrevivência superiores a 90% após a rustificação, indicando que a metodologia adotada se adequa ao seu hábito de crescimento.



Figura 6. Caracterização de mudas de mogno (A), ipê-roxo (B) e ipê-branco (C) aos 160 dias (80 dias de enraizamento em estufa + 20 dias de aclimação + 60 dias de rustificação), produzidas a partir de miniestaquia na Amazônia Sul-Occidental, Acre, Brasil.

Por outro lado, após o processo de rustificação à pleno sol, as mudas de cedro e cerejeira apresentaram taxas de sobrevivência inferiores a 50%, além de evidências de estagnação no desenvolvimento durante esse período. Esses resultados indicam que as miniestacas de ambas as espécies demandam um tempo maior de aclimação em ambiente protegido, sendo o período adotado de 20 dias em casa de sombra possivelmente insuficiente para garantir aos clones o vigor adequado para suportar a incidência solar direta (Figura 7).

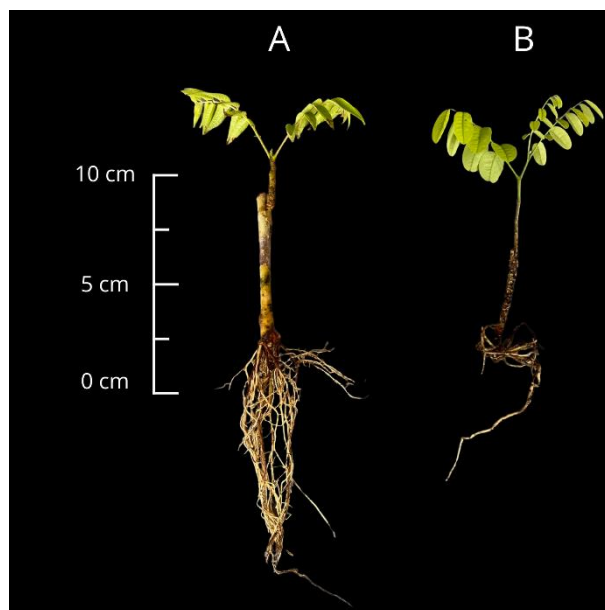


Figura 7. Caracterização de mudas de cedro (A) e cerejeira (B) aos 160 dias (80 dias de enraizamento em estufa + 20 dias de aclimação + 60 dias de rustificação), produzidas a partir de miniestaquia na Amazônia Sul-Occidental, Acre, Brasil.

Com base nos resultados obtidos, foi constatada a viabilidade da produção de mudas clonais mogno, ipê-branco, ipê-roxo, cedro e cerejeira, por meio da técnica de miniestaquia, utilizando-se propágulos oriundos de posições basais e apicais. Dessa forma, a análise da qualidade dos clones produzidos foi feita com base nos valores de biomassa seca apresentados nos subitens a seguir.

3.2.1 Mogno (*Swietenia macrophylla* King)

Conforme os resultados obtidos, foi constatado que é possível produzir mudas clonais de mogno via miniestaquia a partir de propágulos basais e apicais. Após o processo de rustificação, a interação entre a concentração da solução nutritiva e o tipo de miniestaca na produção de biomassa demonstra que as estacas basais apresentaram desempenho melhor do que as estacas apicais sob a concentração padrão de nutrientes (100%) (Tabela 5). Isso indica que os propágulos basais são altamente eficientes para o acúmulo de biomassa, reforçando seu potencial para uso na propagação clonal de mogno em larga escala.

A média da relação massa seca da parte aérea e radicular (MSPA/MSR) para as mudas de mogno foi de 1,96, estando próximo ao valor ótimo (2,0) e indicando que foram produzidas mudas de qualidade independentemente do tratamento adotado, em função do balanço entre absorção de água pelas raízes e perda de água pela transpiração.

Tabela 5. Efeito da interação entre concentração da solução nutritiva base (SNB%) e tipo de miniestaca na produção de biomassa de mudas de mogno aos 160 dias após estaqueamento: 80 dias de enraizamento em estufa e 80 dias de viveiro (20 em casa de sombra + 60 em rustificação).

Massa Seca Total – MST (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	0,73 bA	1,05 bA
100	0,75 bB	1,61 aA
200	1,38 aA	1,57 aA
Massa Seca da Raíz – MSR (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	0,27 aA	0,35 bA
100	0,26 aB	0,62 aA
200	0,46 aA	0,50 abA
Relação Massa Seca do Broto/Massa Seca da Raíz – MSPA/MSR		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	1,86 aA	2,14 aA
100	1,91 aA	1,65 aA
200	2,02 aA	2,21 aA

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

3.2.2 Ipê-branco (*Handroanthus roseoalbus* (Ridl.) Mattos)

De acordo com a análise dos resultados, mudas clonais de ipê-branco podem ser produzidas por miniestaquia a partir de propágulos basais e apicais. Entretanto, em menores concentrações da solução nutritiva (50%) miniestacas apicais tem uma melhor performance, já as concentrações base (100%) e elevada (200%) favorecem a produção de biomassa seca em miniestacas basais (Tabela 5).

Conforme a relação MSPA/MSR, as mudas de ipê-branco produzidas por propágulos apicais apresentam maior investimento em desenvolvimento radicular (1,70), enquanto as produzidas por propágulos basais um maior investimento em desenvolvimento apical (2,37) (Tabela 6). Considerando a proporção ideal (2,0), ambos estão próximos, o que indica a produção de mudas de qualidade, com um adequado equilíbrio entre biomassa da parte aérea e sistema radicular.

Tabela 6. Efeito da interação entre concentração da solução nutritiva base (SNB%) e tipo de miniestaca na produção de biomassa de mudas de ipê-branco aos 160 dias após estaqueamento: 80 dias de enraizamento em estufa e 80 dias de viveiro (20 em casa de sombra + 60 em rustificação).

Massa Seca Total – MST (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	0,61 aA	0,43 bA
100	0,57 aA	0,76 aA
200	0,66 aB	0,88 aA
Massa Seca da Raíz – MSR (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	0,24 aA	0,11 aA
100	0,20 aA	0,26 aA
200	0,28 aA	0,28 aA
Relação Massa Seca do Broto/Massa Seca da Raíz – MSPA/MSR		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	1,80 aB	2,90 aA
100	1,94 aB	2,09 aA
200	1,36 aB	2,12 aA

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

3.2.3 Ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)

Com base nos resultados obtidos, mudas clonais de ipê-roxo podem ser produzidas via miniestaquia a partir de propágulos apicais e basais. Entretanto, foi observado maior produção de biomassa radicular em miniestacas apicais, além de uma excelente resposta de ambos os tipos de propágulo à intensificação da fertirrigação no minijardim (Tabela 7).

A relação MSPA/MSR das mudas de ipê-roxo indica que o desenvolvimento da parte aérea nas mudas produzidas por miniestacas apicais foi insuficiente, com um valor médio de 1,09, o que pode significar baixa eficiência fotossintética ou dificuldade na retomada do crescimento após a rustificação. Dessa forma, o índice sugere que as mudas produzidas por miniestacas basais, com um valor médio de 1,79, apresentaram maior qualidade por estarem mais próximas da proporção considerada ideal (2,0), podendo ser interpretado em equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular.

Tabela 7. Efeito da interação entre concentração da solução nutritiva base (SNB%) e tipo de miniestaca na produção de biomassa de mudas de ipê-roxo aos 160 dias após estaqueamento: 80 dias de enraizamento em estufa e 80 dias de viveiro (20 em casa se sombra + 60 em rustificação).

Massa Seca Total – MST (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	1,17 bA	1,3 bA
100	1,23 bA	0,9 bA
200	1,77 aA	1,84 aA
Massa Seca da Raiz – MSR (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	0,51 aA	0,45 aB
100	0,63 aA	0,30 aB
200	0,89 aA	0,74 aB
Relação Massa Seca do Broto/Massa Seca da Raiz – MSPA/MSR		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca apical	Miniestaca Basal
50	1,31 aB	1,85 aA
100	0,96 aB	1,97 aA
200	1,01 aB	1,55 aA

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

3.2.4 Cedro (*Cedrella fisillis* Vell.)

Os resultados obtidos na análise das mudas clonais de cedro indicaram que a espécie responde de forma eficiente à intensificação da fertirrigação no minijardim, apresentando maior produção de biomassa seca nos propágulos celatados de minicepas adubadas com a concentração de 200% da solução nutritiva base. Dessa forma, sendo possível a aplicação da técnica da miniestaquia tanto para propágulos apicais, quanto basais (Tabela 8).

Entretanto, de acordo com a relação MSPA/MSR os clones de cedro produzidos por miniestacas apicais apresentaram um maior equilíbrio na alocação de biomassa seca da parte aérea e radicular. No entanto, a intensificação da suplementação nutricional tende a impactar positivamente essa relação, especialmente em mudas clonais originadas de miniestacas basais.

Tabela 8. Efeito da interação entre concentração da solução nutritiva base (SNB%) e tipo de miniestaca na produção de biomassa de mudas de cedro aos 160 dias após estaqueamento: 80 dias de enraizamento em estufa e 80 dias de viveiro (20 em casa de sombra + 60 em rustificação).

Massa Seca Total – MST (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	0,29 bA	0,26 bA
100	0,22 bA	0,32 bA
200	0,41 aA	0,53 aA
Massa Seca da Raiz – MSR (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	0,10 bA	0,06 bA
100	0,08 bA	0,09 bA
200	0,12 aA	0,13 aA
Relação Massa Seca do Broto/Massa Seca da Raiz – MSPA/MSR		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	1,93 aB	3,34 aA
100	1,94 aB	2,73 aA
200	2,29 aB	2,91 aA

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

3.2.5 Cerejeira (*Amburana acreana* (Ducke) A.C.Sm.)

Com base na análise dos resultados da miniestaquia, os clones de cerejeira não apresentaram resposta à intensificação da fertirrigação no minijardim, indicando a necessidade de realizar experimentos com maior amplitude entre os tratamentos (Tabela 9).

Embora as soluções mais concentradas (100 e 200%) tenham resultado em maiores produções de miniestacas (Tabela 3), essa diferença não se refletiu na produção de biomassa das mudas clonais. Para a espécie, a produção de biomassa seca foi mais eficiente em mudas clonais originadas de miniestacas basais.

Tabela 9. Efeito da interação entre concentração da solução nutritiva base (SNB%) e tipo de miniestaca na produção de biomassa de mudas de cerejeira aos 160 dias após estaqueamento: 80 dias de enraizamento em estufa e 80 dias de viveiro (20 em casa de sombra + 60 em rustificação).

Massa Seca Total – MST (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	0,31 aB	0,36 aA
100	0,32 aB	0,38 aA
200	0,26 aB	0,38 aA
Massa Seca da Raiz – MSR (g/planta)		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	0,09 aA	0,09 aA
100	0,08 aA	0,08 aA
200	0,07 aA	0,10 aA
Relação Massa Seca do Broto/Massa Seca da Raiz – MSPA/MSR		
Concentração da SNB (%)	Miniestaca Apical (g/planta)	Miniestaca Basal (g/planta)
50	2,38 aA	2,97 aA
100	3,18 aA	3,70 aA
200	2,63 aA	2,88 aA

*Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$); Letras iguais não diferem entre si significativamente.

4. DISCUSSÃO

A produtividade mensal de miniestacas por minicepa observada nas espécies amazônicas avaliadas (Tabela 2) está de acordo com o padrão descrito por Dias et al. (2012a), que ao investigarem minijardins experimentais de espécies da flora lenhosa brasileira, relataram valores frequentemente entre 1 e 4 miniestacas por minicepa ao mês.

O manejo e a silvicultura adequados desempenham papel fundamental na habilitação de espécies nativas para sistemas de produção comerciais. Nesse contexto, a produtividade obtida no minijardim de espécies amazônicas arbóreas ressalta a importância da seleção artificial e da domesticação no avanço da silvicultura clonal. Uma vez que, embora

promissora, ainda se encontra abaixo dos patamares registrados para híbridos comerciais de *Eucalyptus*, que frequentemente alcançam médias de 20 miniestacas por minicepa ao mês (CANGUÇU et al., 2022; VILASBOA et al., 2022; ROCHA et al., 2023).

Segundo Alfenas et al. (2009), a produtividade em minijardins comerciais está diretamente associada ao adensamento das minicepas e intervalos de coleta. Dessa forma, o contraste entre as produtividades discutidas evidencia que, para viabilizar o uso comercial clonal de espécies nativas, é essencial investir em programas de melhoramento genético, além do ajuste de práticas silviculturais específicas que considerem as particularidades fisiológicas e ecológicas de cada espécie.

De maneira geral, a produtividade do minijardim respondeu positivamente a intensificação da fertirrigação. A solução nutritiva continha diferentes sais portadores de nitrogênio, fornecendo o elemento nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-). As principais fontes foram o fosfato monoamônico, o nitrato de potássio, o sulfato de amônio e o nitrato de cálcio. A adubação nitrogenada pode aumentar a produtividade de miniestacas por estimular a produção de citocinina, favorecendo processos metabólicos e de crescimento vegetativo, promovendo a formação de gemas laterais, novos brotos e folhas (GUIRRA et al., 2021).

Esse efeito geralmente apresenta resposta linear até certo limite, sendo que doses excessivas podem reduzir a produção de miniestacas (CARVALHO NETO et al., 2011; HILGERT et al., 2024). No presente estudo, entretanto, não foi observado efeito inibitório do nitrogênio sobre a produtividade das miniestacas, uma vez que a maior dose testada (200% da SNB), equivalente a aproximadamente 170 mg/L de N, proporcionou os melhores resultados para essa variável, permanecendo dentro da faixa recomendada por Higashi et al. (2005) para espécies florestais, de 100 a 200 mg/L.

Embora o nitrogênio seja essencial para estimular o crescimento vegetativo, estudos em espécies florestais revelam que a aplicação isolada de N não é a abordagem mais eficaz. Segundo a metanálise realizada por Tandalla et al. (2024), durante a produção de mudas florestais verifica-se que o crescimento e a qualidade das plantas dependem de um equilíbrio adequado entre nutrientes, especialmente N, P e K, com a aplicação combinada representando ganhos médios de 27% no crescimento. Nesse sentido, Wright et al. (2011) apontam que, em situações de déficit de potássio, mudas e árvores jovens de espécies tropicais tendem a não responder à aplicação isolada de nitrogênio, sendo a adubação combinada a estratégia mais eficaz para promover o crescimento vegetativo.

Os valores de sobrevivência pós-rustificação obtidos nas mudas clonais de mogno, ipê-roxo e ipê branco ($\approx 90\%$), são compatíveis com os relatados para miniestacas de espécies florestais com maior pesquisa silvicultural associada, como híbridos do gênero *Eucalyptus* e o mogno-africano (*Khaya anthotheca*), sendo frequentemente observadas médias de sobrevivência superiores a 90% (BRONDANI et al., 2012; WENDLING et al., 2015; BARBOSA FILHO et al., 2017). Dessa forma, evidenciando a eficácia da estrutura de miniestufa elaborada, bem como do protocolo de fertirrigação conduzido.

Entretanto, em minijardins experimentais de espécies florestais neotropicais os valores médios de sobrevivência pós-estaqueamento são inconsistentes, frequentemente abaixo de 50%, ou seja, mais próximos dos resultados obtidos para as espécies cedro e cerejeira (FREIRE et al., 2019; SANT'ANA' et al., 2023; TORRES et al., 2024). Dessa forma, indicando a necessidade de adaptação da metodologia adotada, visando atender às particularidades fisiológicas dessas espécies.

Ressalta-se que a baixa taxa de sobrevivência pós-rustificação observada nestas espécies pode estar diretamente relacionada ao período de crescimento sob redução de luminosidade, embora o tempo de aclimação de 20 dias seja comumente adotado em clonagens via miniestaquia de híbridos comerciais (BRONDANI et al., 2010; BRONDANI et al., 2014; FERNANDES et al., 2018). Assim, os resultados obtidos neste experimento indicam que mudas clonais de espécies nativas de crescimento lento, como cedro e cerejeira, devem ser produzidas com um tempo superior a 20 dias em aclimação, ou ainda com uma redução gradativa do sombreamento durante o processo de rustificação.

Nesse sentido, Xavier et al. (2003a; 2003b) produziram mudas clonais de cedro (*Cedrela fissilis*) via miniestaquia registrando sobrevivência média acima de 80%, nesse caso os autores realizaram a rustificação com redução de 25% da luz natural, visando adequar a área às condições de luz difusa do banco de plântulas de uma área natural. Segundo Von Arx et al. (2013) as espécies pertencentes a grupos sucessionais mais avançados (algumas secundárias iniciais, secundárias tardias e climácicas) são evolutivamente adaptadas ao crescimento em ambientes sombreados do interior da floresta, protegendo-as do estresse provocado por elevadas temperaturas e perda de umidade do substrato, reduzindo a evapotranspiração.

Essa incapacidade tolerar incidência solar direta converge com as características intrínsecas das estacas coletadas de porções apicais, as quais apresentam menor maturidade dos tecidos e grau de lignificação (HARTMANN et al., 2017). A maior lignificação dos tecidos pode estar associada a uma maior resistência à desidratação, especialmente em

condições de estresse hídrico e térmico, como as enfrentadas na etapa final do experimento, conduzida à pleno sol.

A menor produção de biomassa nas miniestacas apicais pode estar relacionado à estratégia fisiológica das plantas sob estresse, que tendem a redirecionar nutrientes e energia para processos que aumentam suas chances de sobrevivência, mesmo que em detrimento do crescimento (BROETTO et al., 2017). Essa hipótese é reforçada pelo desempenho das miniestacas apicais sob 200% de nutrição, cujo resultado demonstrou maior produção de massa seca total, sugerindo que a maior intensidade nutricional pode ter elevado o vigor das mudas, favorecendo sua resistência às condições de campo.

Embora mudas apresentem maior plasticidade de crescimento em relação às árvores adultas, o que lhes permite reagir com mais eficiência a perdas moderadas de biomassa, essa vantagem é limitada pela baixa quantidade de carbono não estrutural armazenado (açúcares e amido). Consequentemente, são mais sensíveis a estresses prolongados, já que dependem fortemente do carbono recém-assimilado. Dessa forma, reduções prolongadas ou intensas na taxa fotossintética comprometem diretamente a sobrevivência de tecidos jovens, cuja menor maturidade os torna mais vulneráveis às oscilações imediatas no ganho de carbono (NIINEMETS, 2010).

A melhor performance de miniestacas basais para clonagem via miniestaquia de mogno também foi apontada por Cordeiro e Lameira (2012). Para Freire et al. (2020), miniestacas basais de *Apuleia leiocarpa* apresentaram maior taxa de enraizamento e sobrevivência em comparação às miniestacas apicais. Nesse contexto, Druege et al. (2004) concluem que a sobrevivência das estacas pode ser limitada por suas reservas iniciais, as quais variam conforme a técnica de estaqueamento e o grau de lignificação.

Dessa forma, sob certas condições, miniestacas apicais tendem a um melhor enraizamento, conforme o observado por Maldonado et al. (2016) em *Cedrela odorata* e por Dias et al. (2012b) em *Anadenanthera macrocarpa*. De acordo com Hartmann et al. (2017), as porções superiores das brotações tendem a conter uma maior concentração natural de auxinas, o que, em alguns casos, pode atenuar os efeitos da maturidade tecidual e do estresse da interação planta-ambiente no desenvolvimento de mudas via miniestaquia.

Quanto aos valores de biomassa seca obtidos nas mudas de mogno produzidas ($\approx 1,5$ g/planta em 200 SNB% aos 160 dias do estaqueamento), estes foram semelhantes aos obtidos por Azevedo et al. (2021) em mudas clonais de mogno-africano (*Khaya grandifoliola*) aos 120 dias do estaqueamento ($\approx 1,1$ g/planta), indicando um padrão de crescimento inicial semelhante para ambas as espécies da família Meliaceae.

Nesse sentido, a análise da biomassa seca da raiz obtida nas mudas clonais de mogno, cerca de 0,48 g/planta em 200 SNB% aos 160 dias do estaqueamento, sugere que o desenvolvimento do sistema radicular foi compatível com os descritos na literatura para mudas seminais da espécie. Dessa forma, Liévano et al. (2023) obtiveram valores médios de 0,56 g/planta para MSR em mudas de mogno originadas de sementes aos 105 dias. Valores inferiores foram observados por Tucci et al. (2007), com média de 0,31 g/planta em raízes de mudas seminais de mogno cultivadas em solo natural, aos 90 dias pós-germinação.

Entretanto, a fosfatagem corretiva parece impactar significativamente no desenvolvimento inicial das mudas da espécie (TUCCI et al., 2007; SANTOS et al., 2008). A adubação no substrato de estaqueamento não foi realizada neste experimento, uma vez que o objetivo central do ensaio foi isolar os efeitos da adubação aplicada no substrato das minicepas.

Dessa forma, Torres et al. (2024) relataram que mudas clonais de mogno produzidas por miniestaquia, cultivadas em substrato comercial com ausência de fitorreguladores, apresentaram massa seca radicular de 0,020g aos 32 dias após o estaqueamento. Considerando a média de 0,41g aos 160 dias observada no presente experimento, isso corresponde a uma taxa média de acúmulo de biomassa radicular de aproximadamente $0,00305 \text{ g.dia}^{-1}$ para clones da espécie, no entanto estudos específicos para quantificar esta variável são necessários.

Os valores médios de biomassa seca observados (0,65 g/planta) nas mudas clonais de ipê-branco aos 160 dias do estaqueamento, com 80 dias de viveiro, foram compatíveis aos obtidos em mudas seminais com período de permanência em viveiro semelhantes, indicando uma alternativa eficiente para propagação da espécie. Dessa forma, Silva et al. (2021) avaliaram médias de 0,6 g/planta para massa seca total em 80 dias de viveiro. Quanto a biomassa radicular, Vieira et al. (2022) observaram aos 90 dias de viveiro uma média de 0,45 g/planta, porém com um índice MSPA/MSR médio de cinco, sugerindo um altíssimo investimento em parte aérea e possivelmente perdas excessivas por transpiração. Já Macedo et al. (2011) observaram um crescimento acelerado em mudas da espécie, obtendo 0,4 g/planta na massa seca radicular aos 62 dias de viveiro.

A forte resposta a adubação em mudas de ipê-roxo, combinado pela tendência de maior alocação de recursos no sistema radicular, também foi apontada por Silva et al. (2015), indicando o potencial estratégico da espécie para arborização e enriquecimento florestal em ambientes com elevadas adversidades edafoclimáticas. A massa seca média de 1,4 g/planta obtida aos 80 dias de viveiro no presente estudo é compatível aos valores frequentemente

relatados para mudas seminais da espécie, como os observados por Rodrigues et al. (2023) e Lima et al. (2023), que reportaram aproximadamente 0,8 g por muda aos 60 dias de viveiro, evidenciando a eficácia do método de clonagem adotado para produção de mudas de ipê-roxo.

Aos 160 dias após o estaqueamento, as mudas de cedro e cerejeira apresentaram desempenho inferior ao das demais espécies. No caso do cedro, os valores médios de massa seca (0,338 g/planta) foram semelhantes aos observados em clones de *Toona ciliata* (cedro-australiano) avaliados pós-casa de vegetação entre 30 e 40 dias (FERREIRA et al., 2012; SILVA et al., 2012), indicando uma possível estagnação no desenvolvimento após a fase de enraizamento. Por outro lado, a produção de biomassa seca da cerejeira (0,335 g/planta) foi semelhante à observada em clones de leguminosas arbóreas nativas brasileiras não domesticadas, como *Dalbergia nigra* (jacarandá-da-bahia) e *Apuleia leiocarpa* (garapeira) (FREIRE et al., 2020; SANTOS et al., 2020), o que sugere uma tendência fisiológica recorrente entre essas espécies quando propagadas por miniestaquia.

Embora todos os macros e micronutrientes sejam essenciais para o pleno desenvolvimento dos clones, o nitrogênio e o fósforo desempenham um papel central no enraizamento de propágulos. Dessa forma, deficiências leves de nitrogênio estimulam o crescimento de raízes laterais e primárias por mecanismos dependentes de auxina, enquanto deficiências severas ou excesso de amônio inibem o crescimento radicular. O balanço adequado entre fontes e disponibilidade de N é determinante para uma arquitetura radicular eficiente. Já a deficiência em fósforo direciona o crescimento radicular para camadas superficiais e aumenta a densidade e o comprimento de pelos radiculares, mas também pode reduzir o crescimento aéreo por ajustes hormonais, respostas morfofisiológicas que visam otimizar a absorção do nutriente (BANG et al., 2020).

Além do nitrogênio e do fósforo, nutrientes como cálcio, zinco, ferro, manganês, boro e potássio também desempenham papéis essenciais no enraizamento adventício, influenciando processos como divisão e alongamento celular, transporte e metabolismo de auxinas, lignificação e estabilidade da parede celular. O cálcio favorece a formação e o alongamento radicular; o zinco é indispensável para a síntese de precursores de auxina; o ferro e o manganês regulam a atividade de peroxidases, modulando a ação hormonal e a formação de tecidos; o boro é fundamental para a divisão celular e expansão radicular; e o potássio atua na promoção do crescimento e no equilíbrio fisiológico (SCHWAMBACH et al., 2005; FAGERIA e MOREIRA, 2011). A ação coordenada e o suprimento equilibrado

desses nutrientes, ajustados às diferentes fases de indução e formação, são determinantes para maximizar a eficiência do enraizamento.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que, embora as respostas variem entre espécies e tratamentos, o desempenho geral das mudas clonais amazônicas avaliadas revela avanços promissores na viabilidade técnica da miniestaquia aplicada a espécies nativas. As diferenças observadas quanto à produtividade de minijardins, sobrevivência pós-rustificação e acúmulo de biomassa apontam para a necessidade de estratégias específicas de manejo, incluindo ajustes no sombreamento, no tempo de aclimação e na suplementação nutricional, de modo a considerar as particularidades fisiológicas de cada espécie. Assim, os achados aqui discutidos fornecem subsídios relevantes para as reflexões finais desta pesquisa, contribuindo para o aprimoramento da silvicultura clonal voltada à produção de mudas de espécies amazônicas.

5. CONCLUSÃO

O minijardim clonal, composto por mudas de origem seminal em regime de poda de 120 dias, apresenta resposta significativa à intensificação da fertirrigação. A juvenilidade e vigor do material vegetativo colhido, de maneira geral, possui uma excelente capacidade de enraizamento e resposta a adubação, especialmente nas porções basais-intermediárias das brotações.

A técnica de miniestaquia demonstrou viabilidade para a produção de mudas clonais em todas as espécies submetidas ao enraizamento: mogno, ipê-roxo, ipê-branco, cedro e cerejeira. Com destaque para mogno, ipê-branco e ipê-roxo, que apresentaram uma produção de biomassa consistente e taxas de sobrevivência superiores a 90%.

O estudo demonstrou que a propagação vegetativa pode ser realizada com sucesso mesmo na ausência de estruturas permanentes altamente tecnológicas, o que torna a técnica viável e replicável para viveiros de pequeno porte.

Os resultados obtidos demonstram que a miniestaquia é uma técnica viável e eficiente para a produção clonal de espécies florestais amazônicas, configurando-se como uma alternativa promissora aos métodos tradicionais de propagação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças de eucalipto**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 500 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. C.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AZEVEDO, M. L.; TITON, M.; MACHADO, E. L. M.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; FREITAS, E. C. S. Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de miniestacas caulinar e foliar de mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C. DC.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 898–919, 2021.

BANG, T. C.; LAURSEN, H. K. H.; PERSSON, D. P.; SCHJOERRING, J. K. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, p. 2446-2469, 2021.

BARBOSA FILHO, J.; CARVALHO, M. A.; OLIVEIRA, L. S.; KONZEN, E. R.; BRONDANI, G. E. Mini-cutting technique for *Khaya anthotheca*: selection of suitable IBA concentration and nutrient solution for its vegetative propagation. **Journal of Forestry Research**, v. 29, n.1, p. 73-84, 2017.

BAWA, K. S.; DAYANANDAN, S. Global climate change and genetic resources of tropical forests. **Climatic Change**, v. 39, n. 2/3, p. 473-485, 1998.

BORELLI, K.; ROCHA, J. H. T.; SILVA, M. R.; SCALOPPI JR, E. J., GONÇALVES, A. N.; TECCHIO, M. A. Minijardim clonal de seringueira: condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de propágulos. **Revista Árvore**, v. 48, n.1, 2024.

BRASIL. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. 1ª Ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. 97. p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG 2025-2028**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2024. 146 p. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbio/dflo/plano-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa-planaveg/planaveg_2025-2028_2dez2024.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. **O estresse das plantas: teoria & prática**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017. 194 p.

BRONDANI, G. E.; BACCARI, F. J. B.; BERGONCI, T.; GONÇALVES, A. N.; ALMEIDA, M. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 147–156, 2014.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; BRONDANI, A. E.; ARAUJO, M. A.; SILVA, A. L. L.; GONÇALVES, A. N. Dynamics of adventitious rooting in mini-cuttings of *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 2, p. 169–178, 2012.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 453–465, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M.P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v.9, n.1, p. 27-33, 2008.

CANGUÇU, V. S.; TITON, M.; SILVA, L. F. M.; PENA, C. A. A.; ASSIS JUNIOR, S. L. A.; SANTOS, P. H. R.; OLIVEIRA, M. L. R. Mini-tunnel models influence the productivity of *Eucalyptus* mini-stumps? **Bosque**, v. 43, p. 211–219, 2022.

CARVALHO NETO, J. P.; SILVA, E. B.; SANTANA, R. C.; GRAZZIOTTI, P. H. Effect of NPK fertilization on production and leaf nutrient content of *Eucalyptus* minicuttings in nutrient solution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 249-254, 2011.

COOPER, D. L. M.; LEWIS, S. L.; SULLIVAN, M. J. P. *et al.* Consistent patterns of common species across tropical tree communities. **Nature**, v. 625, p. 728–734, 2024.

CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A. Propagação de mogno (*Swietenia macrophylla* King) por miniestaquia. In: **Congresso brasileiro de recursos genéticos**, 2., 2012, Belém, PA. Anais... Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012.

DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012a.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; PAIVA, H. N.; CORREIA, A. C. G. Propagação vegetativa de progênies de meios-irmãos de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 485–494, 2012b.

DRUEGE, U.; ZERCHE, S.; KADNER, R. Nitrogen and storage-affected carbohydrate partitioning in high-light-adapted *Pelargonium* cuttings in relation to survival and adventitious root formation under low light. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, n. 6, p. 831–842, 2004.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. **Advances in Agronomy**, v. 110, p. 251-331, 2011.

FEELEY, K. J.; REHM, E. M.; MACHOVINA, B. Perspective: the responses of tropical forest species to global climate change. **Frontiers of Biogeography**, v. 4, n. 2, p. 69-84, 2012.

FERNANDES, S. J. O.; SANTANA, R. C.; SILVA, E. B.; SOUZA, C. M. P.; SILVA, C. T. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 591–600, 2018.

FERREIRA, D. de A.; BARROSO, D. G.; SILVA, M. P. S. da.; SOUZA, J. S. de.; FREITAS, T. A. S. de.; CARNEIRO, J. G. DE A. Influência da posição das miniestacas na qualidade de mudas de cedro australiano e no seu desempenho inicial no pós-plantio. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 715-723, 2012.

FREIRE, J. M.; VARÍSSIMO, L. N.; PEREIRA, B. R.; ROUWS, J. R. C.; ARTHUR JR, J. C. A. Vegetative propagation of *Hymenaea courbaril* L. and *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. by mini-cutting. **Revista Árvore**, v. 44, e4405, 2020.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 116 p.

GUIRRA, B.S.; SILVA, M.F.; SILVA, J.E.S.B.; GUIRRA, K.S. Nutrição da planta matriz determina a qualidade de propágulos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.13, p.1-6, 2021.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. J. E.; DAVIES, R. F. T.; GENEVE, R. L.; WILSON, S. **Plant propagation: principles and practices**. 9th ed. New Jersey, Prentice Hall., 2017. 1024 p.

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.V.A. GONÇALVES, A.N. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clona de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, IPEF, 2005. p.192-217.

HILGERT, M.A.; HOERLLE, L.L.; FIOR, C.S.; LAZAROTTO, M.; MACIEL, C.G. Nitrogen fertilization and collection periods of pecan tree for cloning by minicutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, e03618, 2024.

LIÉVANO, A. D.; AGUILERA, M.; ESPINOSA, S.; ALDRETE, A.; WONG, A.; PÉREZ, N. B. Sustratos y fertilización para producir planta de *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en charolas. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 14, n. 77, p. 56–75, 2023.

LIMA, D. S. S.; RIBEIRO, G. M. S.; BARBOSA, B. S. SILVA, R. T. L. SANTOS, C. R. C.; SHIBATA, M. Crescimento de mudas de *Handroanthus impetiginosus* submetidas a diferentes condições de capacidade de campo do solo. In: ANDRADE, BATISTA, J. K. (Org.). **Estudos em Ciências Ambientais e Agrárias**. Campina Grande: Licuri, 2023, p. 73-88.

MACEDO, M. C. de; ROSA, Y. B. C. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; SCALON, S. P. Q.; TATARA, M. B. Produção de mudas de ipê-branco em diferentes substratos. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 95–102, 2011.

MALDONADO, S. S.; CASAS, M. J.; UPTON, J. L.; MONSALVO, V. S.; MATA, J. J.; MANTINEZ, A. E.; MARTINEZ, C. R. C. *Cedrela odorata* L. mini-cutting rooting. **Agrociencia**, v. 50, n. 7, p. 919-929, 2016.

MUNIZ, B. B. B.; XAVIER, J. A.; KANIESKI, M. R.; CAMPOS, C. G. C.; HENKES, J. A. Impactos das Mudanças Climáticas nas Florestas Tropicais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 65-82, 2022.

NIINEMETS, Ü. Responses of forest trees to single and multiple environmental stresses from seedlings to mature plants: past stress history, stress interactions, tolerance and acclimation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, n. 10, p. 1623–1639, 2010.

OLIVEIRA, T. P. F.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. 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.

ORR – Observatório da Restauração e Reflorestamento. **Dashboard de monitoramento da restauração florestal no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://observatoriodarestauracao.org.br/dashboard>. Acesso em: 2 jul. 2025.

PNUMA. **GeoAmazônia: perspectivas do meio ambiente na Amazônia**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2008. 167p. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/PZEE/arquivos/geoamazonia_28.pdf. Acesso em: 7 fev. 2025.

ROCHA, F. M.; MARAVILHA, L. F.; TITON, M.; FERNANDES, S. J. O.; MACHADO, E. L. M.; MARTINS, N. S. Productivity of mini-cuttings of a hybrid clone of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus pellita* as a function of exposure time of mini-stumps to mini-tunnel. **Bosque**, v. 44, p. 595–603, 2023.

RODRIGUES, J. I. M.; LIMA, J. R.; NASCIMENTO FILHO, M. A. V.; VIEIRA, L. R.; OLIVEIRA, F. A.; BARATA, G. S.; MARTINS, W. B. R. Eficiência do uso de bioestimulantes para a produção de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* Mart.). **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 10, n. 4, p. 2099–2107, 2023.

SANT'ANA, B. T.; BERUDE, M. C.; FELETTI, T. A.; CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de sapucaia (*Lecythis lanceolata*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 43, 2023.

SANTOS, A. R.; GONÇALVES, E. O.; GIBSON, E. L.; ARAÚJO, E. F.; WENDLING, I.; TERTULIANO, L. A.; CALDEIRA, M. V. W. Mini-cuttings technique for vegetative propagation of *Dalbergia nigra*. **CERNE**, v. 26, n. 4, p. 427–434, 2020.

SANTOS, R. A.; TUCCI, C. A. F.; HARA, F. A. S.; SILVA, W. G. Adubação fosfatada para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 453–458, 2008.

SCHWAMBACH J.; FADANELLI, C.; FETT-NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v. 25, n. 4, p. 487–494, 2005.

SILVA, A. P. M.; SCHWEIZER, D.; MARQUES, H. R.; TEIXEIRA, A. M. C.; SANTOS, T. V. M. N.; SAMBUICHI, R. H. R.; BADARI, C. G.; GAUDARE, U.; BRANCALION, P. H. S. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? **Restoration Ecology**, v. 25, n. 4, p. 509–517, 2017.

SILVA, A. R. P.; FARIAS, A. M. I.; FERREIRA, R. L. C. Desempenho de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) submetidas à adubação fosfatada em diferentes substratos. **Revista Agroecossistemas**, Parnaíba, v. 7, n. 1, p. 15–24, 2015.

SILVA, K. S.; ARRUDA, A. G. R.; COSTA, D. S.; TABOSA, L. D. G.; OLIVEIRA, Â. K. D. de; OLIVEIRA, F. K. D. de. Substrato alternativo à base de rejeito de cobre e matéria orgânica na produção de mudas de ipê-branco. **Educação, Ciência e Saúde**, v. 8, n. 1, p. 1–19, 2021.

SILVA, M. P. S.; BARROSO, D. G.; SOUZA, J. S.; FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, J. G. A. Enraizamento de miniestacas e produtividade de minicepas de cedro australiano manejadas em canaletões e tubetes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 703–713, 2012.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. 3. ed. New York: W. H. Freeman, 1995. 880p.

TANDALLA, D. C.; HOMEIER, J.; BATÁRY, P. Responses of Tropical Tree Seedlings to Nutrient Addition: A Meta-analysis to understand future changes in Tropical Forest Dynamics. **Current Forestry Reports**, v. 11, n. 3, 2025

TORRES, V. G.; GAONA, N.; ORDOÑEZ, L.; GARCÍA, P.; MENDOZA, W.; SAAVEDRA, J.; MACEDO, W.; REÁTEGUI, K.; BASELLEY, J. R.; MARÍN, C. Cutting

propagation technique of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in microtunnels from the Peruvian Amazon. **Bosque**, Valdivia, v. 45, n. 3, p. 485–495, 2024.

TUCCI, C. A. F.; SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; BARROS, J. G. Calagem e adubação para a produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 299–307, 2007.

VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasmas de espécies alógamas. **IPEF**, n.35, p.79-84, 1987.

VIEIRA, C. R.; CARNEIRO, R. S. A.; BOTELHO, R. A.; COSTA, P. P. da. Doses de esterco bovino e equino no crescimento inicial de mudas de ipê-branco. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 10, e03, 2022.

VILASBOA, J.; COSTA, C. T.; FETT-NETO, A. G. Environmental modulation of mini-clonal gardens for cutting production and propagation of hard- and easy-to-root *Eucalyptus* spp. **Plants**, v. 11, p. 3281, 2022.

VON ARX, G.; PANNATIER, E. G.; THIMONIER, A.; REBETEZ, M. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. **Journal of Ecology**, London, v. 101, n. 5, p. 1201–1213, 2013.

WENDLING, I.; WARBURTON, P. M.; TRUEMAN, S. J. Maturation in *Corymbia torelliana* × *C. citriodora* stock plants: effects of pruning height on shoot production, adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **Forests**, v. 6, n. 10, p. 3763–3778, 2015.

WRIGHT, S.; YAVITT, J.; WURZBURGER, N.; TURNER, B.; TANNER, E.; SAYER, E.; SANTIAGO, L.; KASPARI, M.; HEDIN, L.; HARMS, K.; GARCIA, M.; CORRE, M. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest. **Ecology**, v. 92, n. 8, p. 1616-1625, 2011.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, M. L. de. Enraizamento de miniestaca caular e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 351–356, 2003.

XAVIER, A.; SANTOS, G. A.; OLIVEIRA, M. L. de. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 139–143, 2003.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: UFV, 2013. 279 p.