



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS**

RODRIGO NUNES DA ROCHA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA
COM USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA**

**Gurupi, TO
2026**

RODRIGO NUNES DA ROCHA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA
COM USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionísio

**Gurupi, TO
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

R672p Rocha, Rodrigo Nunes da.
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA
AMAZÔNIA COM USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA. / Rodrigo Nunes da Rocha. – Gurupi, TO, 2026.
59 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Ciências Florestais e Ambientais, 2026.

Orientador: Luiz Fernandes da Silva Dionisio

1. Produção de mudas. 2. Fertilizante de liberação controlada. 3. Espécies
amazônicas. 4. Qualidade de mudas. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

RODRIGO NUNES DA ROCHA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS DA AMAZÔNIA
COM USO DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernandes da Silva Dionisio

Data de aprovação: 20/03/2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luiz Fernandes da Silva Dionisio – Orientador – UEPA

Prof. Dr. Raphael Lobato Prado Neves – Examinador - UEPA

Prof. Dr. Walmer Bruno Rocha Martins – Examinador – UFRA

Dedico

A Izabel (Mãe), o Enoque (Pai) e ao Junior
(Companheiro), pelo amor e dedicação para
com o meu futuro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força concedida em todos os momentos desta caminhada. À minha mãe Izabel da Silva Nunes, pelo amor incondicional, dedicação e apoio diário. Ao meu pai Enoque Vieira Rocha, exemplo de coragem, humildade e perseverança, cuja presença sempre guiou meus passos. Ao meu companheiro Adilson Valter da Cunha Junior, pela paciência, incentivo e parceria constante, fundamentais para que esta etapa fosse concluída, ao meu irmão Paulo Sérgio da Silva Nunes e a minha cunhada Anna Paula Alves Zuza e às Minhas Sobrinhas, sendo representada pela Maria Clara Alves da Silva pelo carinho e apoio ao longo dessa jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Fernandes Silva Dionísio, pela orientação, pela confiança depositada e pela oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal.

Aos professores Raphael Lobato Prado Neves e Walmer Bruno Rocha Martins, pela disponibilidade em compor a banca avaliadora e pelas valiosas sugestões e contribuições que enriqueceram este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCFA) – Campus Gurupi/TO, pela formação e suporte institucional ao longo do mestrado, e ao coordenador do curso, Cristiano Bueno de Moraes, pelo comprometimento e dedicação à qualidade do programa. À Universidade do Estado do Pará – Campus Castanhal, pela infraestrutura e apoio indispensáveis à realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os meus amigos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta pesquisa: João Victor de Carvalho Gonçalves, Jonas Vinicius Ferreira da Silva, Rafael Lima Alencar Monteiro, Yago Felipe dos Santos, Tainara Galdino da Silva, Cristiano Bueno de Moraes, Camila de Almeida Milhomem, Gustavo Schwartz, Wallace Ribeiro de Souza, Ana Daniely Souza Coutinho, Jakson Hugo Silva Vilhena, Leilson Willamis Nascimento da Silva, João Luiz Lopes Monteiro Neto e Ricardo Manuel Bardales-Lozano, cuja ajuda, dedicação e companheirismo foram essenciais em diferentes etapas do estudo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, deixo meu sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

A produção de mudas de espécies florestais nativas da Amazônia com alta qualidade morfofisiológica é fundamental para o sucesso de projetos de restauração ecológica. Entre as tecnologias disponíveis, o uso de fertilizantes de liberação controlada, como o Osmocote®, tem se destacado por proporcionar uma nutrição gradual e eficiente, reduzindo perdas de nutrientes e promovendo crescimento equilibrado das plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses do fertilizante Osmocote® na produção de mudas de duas espécies amazônicas de relevância ecológica e econômica: *Vouacapoua americana* Aubl. e *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. Os experimentos foram conduzidos em viveiro florestal, em delineamento inteiramente casualizado, com diferentes doses de Osmocote®. Para *V. americana*, as doses testadas foram 0; 3; 6; 9 e 12 g planta⁻¹, e para *J. copaia*, 0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta⁻¹. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura total da planta, diâmetro do coleto, taxa de crescimento relativo, clorofila total, nitrogênio (g planta⁻¹), temperatura da folha (°C), massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), massa seca da raiz (MSR, g planta⁻¹), massa seca total (MST g planta⁻¹), relação altura/diâmetro do coleto (HT/DC), relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Os resultados demonstraram que, para *V. americana*, a dose de aproximadamente 7,5 g planta⁻¹ proporcionou o melhor desempenho, considerando a máxima eficiência técnica estimada por regressão para a maioria das variáveis morfológicas, enquanto a dose de 7,7 g planta⁻¹ resultou no maior Índice de Qualidade de Dickson. Para *J. copaia*, a dose de 3 g planta⁻¹ foi a mais eficiente para o crescimento e qualidade das mudas. A dose ideal de Osmocote® varia entre espécies florestais. Doses intermediárias promoveram maior crescimento, equilíbrio morfofisiológico e vigor das mudas, confirmando seu potencial para a produção sustentável de espécies florestais nativas da Amazônia. O estudo reforça a importância do manejo nutricional adequado e do uso de tecnologias de fertilização controlada para otimizar a produção em viveiros e aumentar o sucesso em programas de restauração ecológica.

Palavras-chaves: Produção de mudas. Fertilizante de liberação controlada. Espécies amazônicas. Qualidade de mudas.

ABSTRACT

The production of seedlings of native Amazonian forest species with high morphophysiological quality is essential for the success of ecological restoration projects. Among the available technologies, the use of controlled-release fertilizers, such as Osmocote®, has stood out for providing gradual and efficient nutrient supply, reducing nutrient losses and promoting balanced plant growth. This study aimed to evaluate the effect of different doses of Osmocote® fertilizer on the production of seedlings of two Amazonian species of ecological and economic importance: *Vouacapoua americana* Aubl. and *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. The experiments were conducted in a forest nursery under a completely randomized design, with different doses of Osmocote®. For *V. americana*, the tested doses were 0, 3, 6, 9, and 12 g plant⁻¹, and for *J. copaia*, 0, 1.5, 3.0, and 4.5 g plant⁻¹. The following variables were evaluated: plant height, stem diameter, relative growth rate, total chlorophyll, nitrogen (g plant⁻¹), leaf temperature (°C), shoot dry mass (SDM, g plant⁻¹), root dry mass (RDM, g plant⁻¹), total dry mass (TDM, g plant⁻¹), height/stem diameter ratio (H/D), shoot/root dry mass ratio (SDM/RDM), and Dickson Quality Index (DQI). The results showed that, for *V. americana*, the dose of approximately 7.5 g plant⁻¹ provided the best performance, considering the maximum technical efficiency estimated by regression for most morphological variables, while the dose of 7.7 g plant⁻¹ resulted in the highest Dickson Quality Index. For *J. copaia*, the dose of 3 g plant⁻¹ was the most efficient for seedling growth and quality. The optimal dose of Osmocote® varies among forest species. Intermediate doses promoted greater growth, morphophysiological balance, and seedling vigor, confirming their potential for the sustainable production of native Amazonian forest species. This study reinforces the importance of proper nutritional management and the use of controlled fertilization technologies to optimize nursery production and increase the success of ecological restoration programs.

Key-words: Seedling production. Controlled-release fertilizer. Amazonian species. Seedling quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Área de estudo localizada no Parque Natural Municipal de Castanhal no município de Castanhal, PA, Brasil.	21
Figura 2 - Etapas de montagem do experimento com <i>Vouacapoua americana</i> na Universidade do Estado do Pará. a) preparo do substrato, b) saco plástico utilizado para produção de mudas, c) sementes de <i>V. americana</i> e d) mudas selecionadas para teste com diferentes doses de Osmocote®	22
Figura 3 – Etapas de coleta e análise de dados do experimento com <i>Vouacapoua americana</i> na Universidade do Estado do Pará. a) avaliação da clorofila total, nitrogênio e temperatura da folha, b) divisão em parte aérea e raízes, c) seleção dos indivíduos de <i>V. americana</i> por tratamento com diferentes doses de Osmocote® e d) indivíduos acondicionados em estufa a 70 °C.....	23
Figura 4 - Curvas de crescimento acumulado em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas <i>Vouacapoua americana</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta ⁻¹) ao longo de 180 dias após o transplântio.....	25
Figura 5- Regressão para altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas <i>Vouacapoua americana</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta ⁻¹) aos 180 dias após o transplântio MET: máxima eficiência técnica	26
Figura 6 - A) Regressão para nitrogênio, B) clorofila e C) temperatura das folhas de mudas <i>Vouacapoua americana</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g/planta) aos 180 dias após o transplântio.....	26
Figura 7 - A) Regressão para massa seca da parte aérea (MSPA), B) massa seca da raiz (MSR) e C) massa seca total de mudas <i>Vouacapoua americana</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta ⁻¹) aos 180 dias após o transplântio MET: máxima eficiência técnica	27
Figura 8 - A) Regressão para relação entre altura e diâmetro, B) massa seca da parte aérea e massa seca da raiz e C) índice de qualidade de Dickson de mudas <i>Vouacapoua americana</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta ⁻¹) aos 180 dias após o transplântio MET: máxima eficiência técnica	27
Figura 9- Correlação de Pearson entre as variáveis morfológicas de mudas de <i>Vouacapoua americana</i> em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta ⁻¹) aos 180 dias após o transplântio. HT = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; HT/DC = Relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto; MSPA = Massa seca da parte aérea; MSR = Massa	

seca da raiz; MST = Massa seca total; MSPA/MSR = Relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz; DQI = Índice de Qualidade de Dickson.....	28
Figura 1 - Área de estudo localizada no Parque Natural Municipal de Castanhal (a) no município de Castanhal, PA, Brasil.....	39
Figura 2- Metodologia de resgate de plântulas <i>Jacaranda copaia</i> desde a fase de identificação das matrizes (A), retirada dos indivíduos da regeneração natural (B e C) até a fase de viveiro para produção de mudas (D).....	40
Figura 3 - Avaliação das variáveis a cada 30 dias (A), corte das plântulas (parte aérea e raízes) (B) e pesagem da massa seca da parte aérea e da raiz da espécie de <i>Jacaranda copaia</i> (C)....	42
Figura 4 - Curvas de crescimento acumulado em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas de <i>Jacaranda copaia</i> ao longo de 180 dias após o transplântio. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si ao longo do tempo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).....	43
Figura 5 - Taxa de crescimento relativo (TCR) em altura total (HT) e diâmetro do coleto (DC) de mudas de <i>Jacaranda copaia</i> ao longo de 180 dias após o transplântio. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).....	43
Figura 6 - Regressão para altura (A), diâmetro do cauleto (B), de mudas de <i>Jacaranda copaia</i> obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta ⁻¹) aos 180 dias após o transplântio.....	45
Figura 7 - Valores médios de massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B) e massa seca total (C), obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta ⁻¹) em mudas de <i>Jacaranda copaia</i> aos 180 dias após o transplântio.....	46
Figura 8 - A) Regressão para relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz e B) índice de qualidade de Dickson, obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta ⁻¹) em mudas de <i>Jacaranda copaia</i> aos 180 dias após o transplântio.....	46

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Tabela 1 - Síntese de estudos (2020–2026) sobre a aplicação de fertilizantes de liberação controlada (FLC) na produção de mudas florestais, destacando espécies avaliadas, doses recomendadas e principais respostas morfológicas.....	47
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - Análise de Variância

Bartlett - Teste de homogeneidade de variâncias

DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado

DC - Diâmetro do Coleto

DQI / IQD - Índice de Qualidade de Dickson

FLC - Fertilizante de Liberação Controlada

H - Altura da Planta

HT - Altura Total

HT/DC - Altura Total/Diâmetro do Coleto

LMB - Laboratório Multiusuário de Biomateriais

MSPA - Massa Seca da Parte Aérea

MSPA/MSR - Massa Seca da Parte Aérea/Massa Seca da Raiz

MSR - Massa Seca da Raiz

MST - Massa Seca Total

N - Nitrogênio

PPGCFA - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

QQ plot - Quantile-Quantile Plot

R - Development Core Team

SPAD - Single Photon Avalanche Diode

Shapiro-Wilk - Teste de normalidade

TCR - Taxa de Crescimento Relativo

UEPA - Universidade do Estado do Pará

UFT - Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

k	Constante de correlação
μ	Média aritmética
g planta ⁻¹	Gramas por planta
cm	Centímetros
mm	Milímetros
SPAD	Single Photon Avalanche Diode
°C	graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	OSMOCOTE® ACELERA DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>VOUACAPOUA AMERICANA</i> AUBL	18
2.1	Introdução	19
2.2	Materiais e métodos	21
2.2.1	Área de estudo	21
2.2.2	Montagem e condução do experimento	21
2.2.3	Delineamento experimental	22
2.2.4	Coleta e análise de dados	23
2.3	Resultados	25
2.4	Discussão.....	29
2.5	Conclusões.....	31
2.6	Referências bibliográficas.....	31
3	RESGATE DE PLÂNTULAS DA REGENERAÇÃO NATURAL E USO DE OSMOCOTE® PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE JACARANDA COPAIA (AUBL.) D. DON.....	36
3.1	Introdução.....	37
3.2	Materiais e métodos.....	39
3.2.1	Área de estudo.....	39
3.2.2	Delineamento experimental.....	40
3.2.3	Coletas de dados.....	41
3.2.4	Análises de dados.....	42
3.3	Resultados.....	43
3.4	Discussão.....	47
3.5	Conclusões.....	51

3.6	Referências bibliográficas.....	52
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia brasileira abriga a maior floresta tropical contínua do planeta e desempenha papel essencial na regulação climática global. No entanto, nas últimas décadas, o aumento do desmatamento e o uso inadequado do solo têm provocado a degradação de extensas áreas florestais (SPANNER *et al.*, 2021). Essa realidade reforça a necessidade de estratégias de restauração ecológica que contribuam para recompor a vegetação nativa e recuperar serviços ecossistêmicos que foram perdidos (RODRIGUES *et al.*, 2025).

Entre as ações voltadas à restauração, a produção de mudas de qualidade assume papel central, pois o desempenho das espécies em campo depende diretamente das condições de crescimento durante a fase de viveiro (SOUZA *et al.*, 2020). Fatores como o tipo de substrato, o volume do recipiente e, sobretudo, o manejo nutricional influenciam o vigor das plantas e a sobrevivência após o plantio (CUNHA *et al.*, 2021). Assim, compreender e ajustar a adubação é fundamental para o desenvolvimento equilibrado das espécies florestais.

No Brasil, a produção de mudas ainda é amplamente baseada no uso de fertilizantes minerais convencionais, que liberam nutrientes de forma rápida e podem causar perdas por lixiviação e salinização do substrato (ANDRIGUETTO *et al.*, 2024). Como alternativa, os fertilizantes de liberação controlada (FLCs) têm ganhado destaque, por disponibilizarem nutrientes de maneira gradual, de acordo com as necessidades fisiológicas das plantas (PAULA *et al.*, 2020). Essa tecnologia favorece o crescimento contínuo das mudas e reduz o impacto ambiental associado ao manejo tradicional de adubação.

Entre os fertilizantes de liberação controlada, o Osmocote® é um dos mais utilizados em viveiros florestais. Sua eficiência tem sido comprovada em diversas espécies, promovendo maior biomassa e uniformidade de crescimento, além de reduzir a necessidade de adubações frequentes (JARDIM *et al.*, 2023). Em espécies tropicais, resultados positivos foram observados em *Lecythis lurida*, demonstrando que o uso de FLCs pode otimizar o desempenho de mudas nativas (JARDIM *et al.*, 2024).

Observa-se que em *Didymopanax morototoni*, o Osmocote® elevou significativamente a altura, biomassa e Índice de Qualidade de Dickson das mudas, indicando a formação de mudas estruturalmente mais equilibradas (BORGES *et al.*, 2025). Em *Calophyllum brasiliense*, a avaliação de diferentes doses de Osmocote® (0; 2; 4; 6 e 8 g L⁻¹) utilizando substrato comercial orgânico, demonstrou que a dose de 4,0 g L⁻¹ proporcionou os maiores incrementos em altura, diâmetro do coleto, biomassa seca e índice de qualidade de Dickson, enquanto doses superiores, especialmente acima de 6,0 g L⁻¹, reduziram a qualidade das mudas, indicando resposta

quadrática e a necessidade de faixas adequadas de adubação (JARDIM *et al.*, 2023). Resultados semelhantes foram observados em *Peltophorum dubium*, em que a utilização de fertilizante de liberação lenta (6 g L^{-1}), associada a diferentes volumes de tubetes (100, 175 e 280 cm^3) contendo substrato Carolina Soil, promoveu aumentos significativos em altura, diâmetro do coleto, biomassa seca e índice de qualidade de Dickson, com destaque para o maior volume de recipiente (BARROS *et al.*, 2024). Nota-se que, em *Adenanthera pavonina*, estudos recentes mostraram que a utilização de FLC, associada ao manejo adequado do substrato, resultou em mudas mais vigorosas, com maior altura, diâmetro e massa seca, reforçando o potencial desse insumo na produção de espécies tropicais (RODRIGUES *et al.*, 2024).

De forma geral, a literatura indica que o manejo integrado da adubação com FLC e do substrato favorece a produção de mudas florestais de maior qualidade, ao mesmo tempo em que contribui para sistemas de produção mais sustentáveis, especialmente em espécies destinadas à restauração ecológica (ROTOWA *et al.*, 2025; ERHARDT *et al.*, 2025).

Apesar dos avanços, ainda são limitados os estudos sobre o uso de FLCs em espécies amazônicas de importância ecológica e econômica, como *Vouacapoua americana* Aubl. e *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don. A primeira, é uma espécie arbórea de madeira densa, pertencente ao grupo ecológico das secundárias tardias, de crescimento inicial lento e amplamente discutida na literatura sob a perspectiva da conservação e do manejo florestal na Amazônia, encontrando-se atualmente protegida contra a exploração madeireira comercial (MAESTRI *et al.*, 2021). Por sua vez, a *J. copaia* apresenta comportamento pioneiro, rápido crescimento inicial e amplamente utilizada em programas de reflorestamento e restauração florestal (WORLD FLORA, 2025). A seleção de *V. americana* e *J. copaia* baseia-se, portanto, nas diferenças entre seus grupos ecológicos e padrões de crescimento inicial, permitindo analisar respostas diferenciadas à adubação com FLCs. No entanto, ambas ainda apresentam lacunas quanto à produção de mudas de alta qualidade e à definição de doses adequadas.

Dessa forma, compreender o efeito de diferentes doses de FLC sobre o crescimento e a qualidade de mudas dessas espécies é essencial para o aprimoramento das práticas de silvicultura. A adoção de tecnologias mais eficientes, como o Osmocote®, pode contribuir não apenas para a redução de custos em viveiros, mas também para o sucesso do estabelecimento das mudas em campo e para a restauração ecológica da Amazônia (DIAS *et al.*, 2022).

Assim, nesta dissertação o objetivo geral foi avaliar o efeito de diferentes doses do fertilizante de liberação controlada Osmocote® na produção de mudas de *Vouacapoua americana* e *Jacaranda copaia*, analisando parâmetros morfológicos, fisiológicos e de

qualidade, considerando as diferenças ecológicas e de crescimento inicial entre as espécies, com vistas a aprimorar o manejo nutricional de espécies florestais nativas da região amazônica.

2 OSMOCOTE® ACELERA DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DA ESPÉCIE DE CRESCIMENTO LENTO *VOUACAPOUA AMERICANA* AUBL.

RESUMO

O êxito na restauração florestal com espécies nativas está ligado à produção de mudas com elevada qualidade morfofisiológica, obtida por meio de técnicas apropriadas de viveiro. Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de *Vouacapoua americana* Aubl., espécie nativa da Amazônia, submetidas a diferentes doses do fertilizante de liberação controlada Osmocote® (0, 3, 6, 9 e 12 g/planta⁻¹). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições e quatro plantas por parcela, totalizando 12 indivíduos por tratamento. A dose de 7,5 g/planta⁻¹ proporcionou os melhores resultados para as variáveis morfológicas: altura da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total, com médias de 30,5 cm, 21,53 g, 6,72 g e 28,25 g, respectivamente. Para os parâmetros fisiológicos, observaram-se teores de clorofila total, nitrogênio foliar e temperatura da folha de 36,2 SPAD; 14,1 g N/planta⁻¹ e 34,1 °C, respectivamente. O índice de qualidade de Dickson apresentou maior valor na dose de 7,7 g/planta⁻¹ (4,0). Observou-se interação significativa entre os níveis de fertilizante e as variáveis morfológicas das mudas, com tendência de redução no crescimento nas doses mais elevadas. A dose de 7,5 g/planta⁻¹ de Osmocote® foi a mais eficiente para o desenvolvimento de mudas vigorosas e equilibradas, aptas ao transplântio e à restauração de áreas degradadas.

Palavras-chave: Restauração florestal; fertilizante de liberação controlada; produção de mudas de árvores; espécies amazônicas.

OSMOCOTE ACCELERATES SEEDLING DEVELOPMENT AND QUALITY OF THE SLOW-GROWING SPECIES *VOUACAPOUA AMERICANA* AUBL.

ABSTRACT

Success in forest restoration with native species is linked to the production of seedlings with high morpho-physiological quality, obtained through appropriate forest nursery techniques. This study aimed to evaluate growth and quality of seedlings of *Vouacapoua americana* Aubl., a species native of Amazonia, subjected to different doses of the controlled-release fertilizer Osmocote (0, 3, 6, 9, and 12 g plant⁻¹). The experimental design was completely randomized,

with three replicates and four plants per plot, totaling 12 individuals per treatment. The dose of 7.5 g plant⁻¹ provided the best results for the morphological variables: shoot height, shoot dry mass, root dry mass, and total dry mass, with means of 30.5 cm, 21.53 g, 6.72 g, and 28.25 g, respectively. For the physiological parameters, total chlorophyll, leaf nitrogen, and leaf temperature contents of 36.3 SPAD; 14.1 g N plant⁻¹ and 34.1 °C were observed, respectively. The Dickson Quality Index showed the highest value at the dose of 7.5 g plant⁻¹ (4.0). A significant interaction was observed between the fertilizer levels and the morphological seedlings variables, with a tendency to reduce growth at the highest doses. The dose of 7.5 g plant⁻¹ of Osmocote was the most efficient for the development of vigorous and balanced seedlings, suitable for transplanting and restoration of degraded areas.

Keywords: Forest restoration; controlled-release fertilizer; tree seedling production; Amazonian species.

2.1 Introdução

Vouacapoua americana Aubl., popularmente conhecida como Acapú, pertence à família Fabaceae (SILVA *et al.*, 2023), e é amplamente distribuída por toda a região amazônica. Pode atingir até 40 metros de altura e 2 metros de diâmetro, caracterizando-se por sua madeira extremamente densa e resistente. Por ser uma espécie clímax tolerante à sombra em seu estágio juvenil, ela se estabelece como uma espécie secundária tardia no processo de sucessão ecológica da floresta, atingindo a copa em fase de adulta (ARAGÃO & ALMEIDA, 1997; MAUÉS *et al.*, 1999). Além de seu alto valor econômico para a indústria madeireira, a espécie desempenha um papel ecológico crucial na estrutura e manutenção dos ecossistemas florestais (WORLD FLORA, 2025).

Aspectos relacionados a regeneração da espécie encontram-se relativamente bem documentados. As sementes de *V. americana* não apresentam dormência e exibem germinação epígea, com emergência começando por volta do 8º dia após a semeadura e atingindo até 92% no 23º dia. A dispersão natural é realizada principalmente por roedores como cutias e pacas, que podem transportar as sementes a mais de 20 m de distância da árvore matriz (CRUZ & PEREIRA, 2016). Da mesma forma, a distribuição espacial da espécie, tanto em estágios juvenis quanto adultos, já foi amplamente investigada, evidenciando padrões agregados associados aos mecanismos de dispersão e ao uso do habitat (FORGET *et al.*, 1999; SPANNER *et al.*, 2021)

Apesar desse avanço no conhecimento ecológico e populacional, ainda persistem lacunas importantes relacionadas ao manejo silvicultural da espécie, especialmente no que se

refere à fase inicial de produção de mudas em viveiro. Embora existam estudos que abordem o crescimento inicial de *V. americana* em função de condições ambientais como irradiância e características biométricas das sementes, as informações sobre a ecologia nutricional da espécie em ambiente controlado permanecem limitadas (MAESTRI *et al.*, 2021). Essa lacuna é particularmente relevante para espécies de crescimento lento, nas quais o suprimento nutricional adequado pode determinar a qualidade morfológica e fisiológica das mudas, influenciando diretamente sua sobrevivência e desempenho após o plantio em campo.

Atualmente, *V. americana* encontra-se incluída na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção do Ministério do Meio Ambiente, conforme a Portaria nº 148/2022 (BRASIL, 2022). A susceptibilidade de uma espécie à extinção está associada a diversos fatores, como a distribuição, biologia e impactos humanos, como o desmatamento e as mudanças climáticas (SPANNER *et al.*, 2021), o que reforça a necessidade de estudos que subsidiem estratégias de conservação baseadas em evidências científicas. Nesse contexto, a fase de viveiro assume um papel central, uma vez que a qualidade morfológica e fisiológica das mudas influencia diretamente na sua sobrevivência e adaptação em campo. Entre as lacunas ainda existentes, destaca-se a limitada compreensão sobre a ecologia nutricional de *V. americana*, embora a disponibilidade de nutrientes um fator determinante para o sucesso no estabelecimento das mudas e no desempenho de crescimento das plantas ao longo do tempo.

O setor florestal brasileiro depende predominantemente de fertilizantes minerais convencionais à base de NPK (ANDRIGUETTO *et al.*, 2024), apesar das evidências crescentes de que essas formulações de liberação imediata podem não atender adequadamente à dinâmica nutricional específica das espécies nativas. Essa prática ainda persiste em razão da ampla disponibilidade no mercado e da conveniência operacional, embora não considere as exigências nutricionais mais sutis durante as fases iniciais de crescimento. Estudos recentes indicam que fertilizantes de liberação controlada (FLCs), como o Osmocote®, podem oferecer uma nutrição mais fisiologicamente adequada, fornecendo gradualmente os elementos essenciais, prevenindo danos radiculares decorrentes do acúmulo de sais e reduzindo perdas ambientais por lixiviação (PAULA *et al.*, 2020; JARDIM *et al.*, 2023; JARDIM *et al.*, 2024; ROUBUSTE *et al.*, 2025). Essa solução tecnológica mostra-se especialmente relevante, uma vez que os substratos naturais nem sempre conseguem suprir adequadamente as demandas nutricionais das plantas ao longo de todo o ciclo de crescimento.

Estudos recentes em espécies florestais, como *Pinus taeda*, mostraram que a aplicação de 3,0 kg de Osmocote® combinados com 1,0 kg de Basacote® por m³ de substrato resultou em mudas com melhor padrão de qualidade, destacando a importância de dosagens específicas para

cada espécie (FLORES *et al.*, 2025). Portanto, a FLC aumenta a simetria entre a disponibilização do nutriente e a demanda nutricional da planta, de modo a reduzir a perda de nutrientes e aumentar o rendimento das culturas (ABDULLAH *et al.*, 2023; MILHOMEM *et al.*, 2025). Além disso, a utilização deste fertilizante pode promover benefícios, como redução da necessidade de adubação de cobertura e redução dos custos com mão-de-obra (CUNHA *et al.*, 2024).

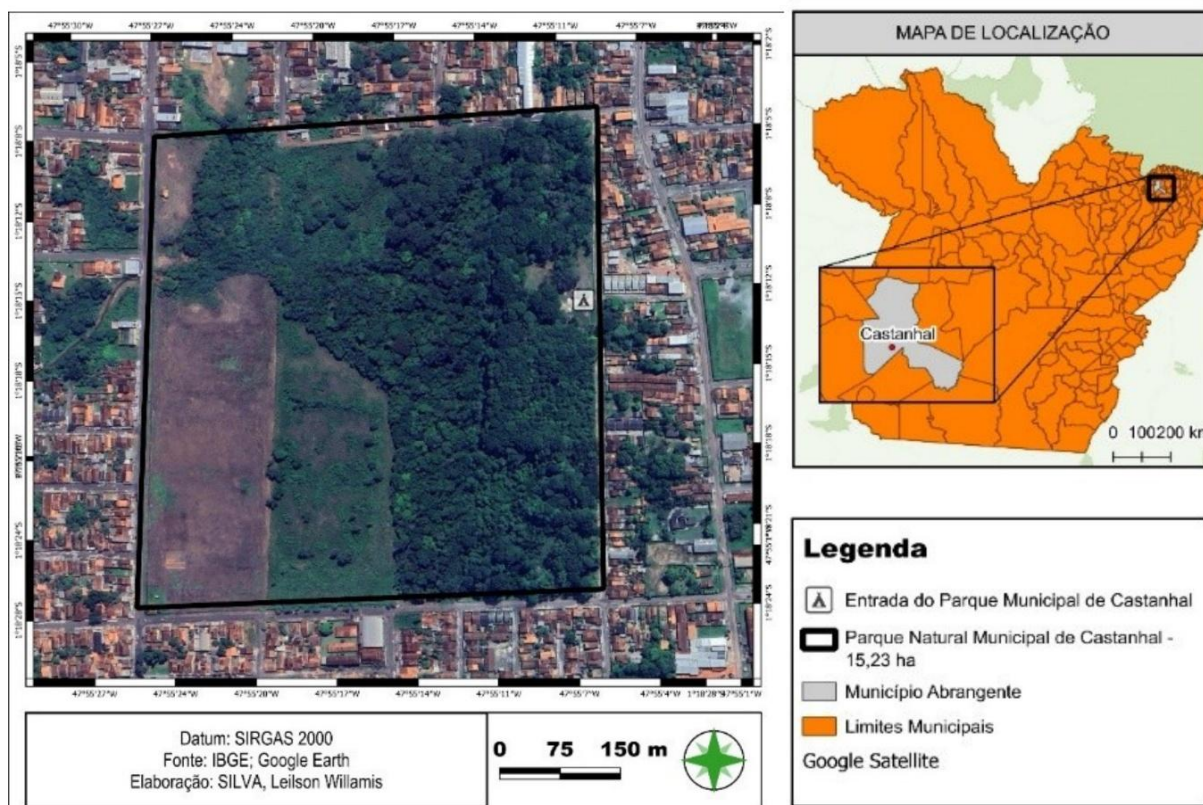
Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de *V. americana* em resposta a diferentes doses de Osmocote[®], analisando parâmetros morfológicos e fisiológicos, com vistas a estabelecer recomendações técnicas para a produção sustentável de mudas.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira a coleta de sementes, realizada no Parque Natural Municipal de Castanhal (1°18'13.4"S, 47°55'12.6"W), no município de Castanhal, Pará (Figura 1) e a segunda no viveiro florestal da Universidade do Estado do Pará (UEPA). O Parque tem 15 hectares de floresta, onde ocorrem várias espécies de valor comercial, dentre elas o Parapará (*Jacaranda copaia* Aubl. D. Don.), a Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl), a Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll. Arg.), o Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e o Acapú (*Vouacapoua americana* Aubl.).

Figura 1 - Área de estudo localizada no Parque Natural Municipal de Castanhal (a) no município de Castanhal, PA, Brasil.



2.2.2 Condução do experimento

As sementes de *V. americana* foram coletadas no Parque Estadual Municipal de Castanhal, no município de Castanhal, Pará, Brasil. A coleta ocorreu em uma área de aproximadamente 15 hectares de floresta, onde foram identificadas e utilizadas 20 árvores matrizes distribuídas ao longo da área, buscando obter sementes provenientes de diferentes indivíduos. As sementes foram coletadas no solo, sob a copa das árvores matrizes, após a dispersão natural dos frutos. Após a coleta, as sementes de *V. americana* foram transportadas para o Laboratório Multiusuário de Biomateriais - LMB da UEPA, onde passaram por uma pré-seleção para eliminar todas as sementes danificadas ou com alguma anomalia que pudesse interferir na germinação. As sementes foram colocadas para germinar diretamente em sacos plásticos com de 35 cm de altura x 15 cm diâmetro, contendo como substrato uma mistura de solo de floresta e argila na proporção 2:1 (Figura 2A, 2B e 2C). As plantas foram então mantidas em um viveiro com tela de sombreamento de 50%, onde permaneceram durante todo o período inicial de crescimento no viveiro florestal da UEPA, sendo irrigadas três vezes ao dia. Essas condições foram padronizadas e o estudo foi conduzido entre janeiro e junho de 2025, período que corresponde à estação menos chuvosa na região. Trinta dias após a germinação foi escolhido 60 plantas uniformes em altura para o teste com diferentes doses de Osmocote® (Figura 2D).

Figura 2 – Etapas de montagem do experimento com *Vouacapoua americana* na Universidade do Estado do Pará. a) preparo do substrato, b) saco plástico utilizado para produção de mudas, c) sementes de *V. americana* e d) mudas selecionadas para teste com diferentes doses de Osmocote®.



2.2.3 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (doses 0, 3, 6, 9 e 12 g do fertilizante de liberação controlada, Osmocote®/planta) e três repetições com quatro plantas cada, totalizando 12 plantas por tratamento. O Osmocote® foi aplicado diretamente no substrato de forma circular no entorno da planta, sendo recoberto com uma camada de substrato de 5 cm.

2.2.4 Coleta e análise de dados

A coleta dos dados foi realizada a cada 30 dias, sendo medidos a altura total (cm), diâmetro do coleto (mm), clorofila total, nitrogênio e temperatura da folha. Em cada uma das plantas de cada tratamento foi escolhida uma folha do terço médio, onde foram coletados cinco pontos com o SPAD (*Single Photon Avalanche Diode*) (Figura 3A).

Aos 180 dias após a aplicação do Osmocote® foram avaliadas as seguintes variáveis: a) altura de planta (H; cm), b) diâmetro do coleto (DC; mm), c) clorofila total (unidades SPAD), d) nitrogênio (g planta⁻¹), e) temperatura da folha (°C), f) massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), g) massa seca da raiz (MSR, g planta⁻¹), h) massa seca total (MST g planta⁻¹), e i) Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi calculado de acordo com a Equação (1), proposto por (DICKSON *et al.*, 1960).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{HT}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

(1)

Para avaliar a massa seca foram selecionadas aleatoriamente seis plântulas por tratamento, onde cada uma teve a parte aérea separada das raízes por meio de um corte à altura do diâmetro do coleto (Figura 3B e 3C). Ambas as partes foram colocadas separadamente em sacos de papel Kraft, identificadas e secas em estufa a 70 °C durante 72 h até atingirem uma massa constante (Figura 3D). Imediatamente após a retirada da estufa, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão (0,001 g) para obtenção da massa seca da parte aérea e da raiz.

Figura 3 – Etapas de coleta e análise de dados do experimento com *Vouacapoua americana*. a) avaliação da clorofila total, nitrogênio e temperatura da folha; b) divisão em parte aérea e raízes; c) seleção dos indivíduos de *V. americana* por tratamento com diferentes doses de Osmocote® e; d) indivíduos acondicionados em estufa a 70 °C.



Para verificar os pressupostos da análise de variância (ANOVA), as variáveis coletadas (aos 180 dias) foram analisadas quanto à: a) normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), com a visualização gráfica do QQ plot (CRAWLEY, 2012; ZUUR *et al.*, 2009), b) homocedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$) e, c) independência entre unidades experimentais. Uma vez atendidos esses pressupostos, os dados foram submetidos à ANOVA. O crescimento em altura e diâmetro do coleto ao longo dos 180 dias foram submetidos à ANOVA de medidas repetidas no tempo. Realizou-se à análise de regressão para as doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) aos 180 dias utilizando o pacote AgroR (SHIMIZU *et al.*, 2024). O modelo de regressão para cada variável foi selecionado considerando a significância dos coeficientes das variáveis e o maior coeficiente de determinação (R^2). Para relações

quadráticas significativas, a máxima eficiência técnica foi estimada pelo vértice da parábola, conforme a Equação (2):

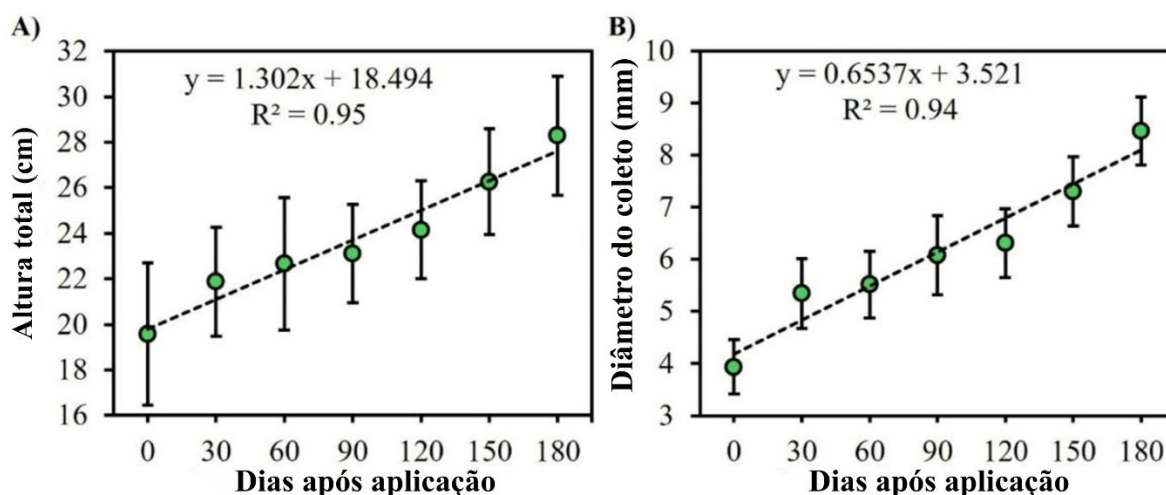
$$x = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} \quad (2)$$

em que β_1 e β_2 correspondem aos coeficientes linear e quadrático da regressão, respectivamente. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R versão 4.5.2 (R Development Core Team, 2023), ao nível de $p \leq 0,05$ de significância.

2.3 Resultados

As variáveis altura e diâmetro do coleto apresentaram uma tendência de crescimento linear positiva. Aos 180 dias, a altura e diâmetro apresentaram médias de $28 \pm 2,6$ cm e $8,5 \pm 0,66$ mm, respectivamente (Figura 4A e 4B). Isso demonstra que a *V. americana* apresenta crescimento muito lento, visto que em 180 dias cresceu, em média, 8 cm em altura. Isso corresponde a um crescimento de $0,044$ cm/dia⁻¹ ou $0,27$ cm/mês⁻¹.

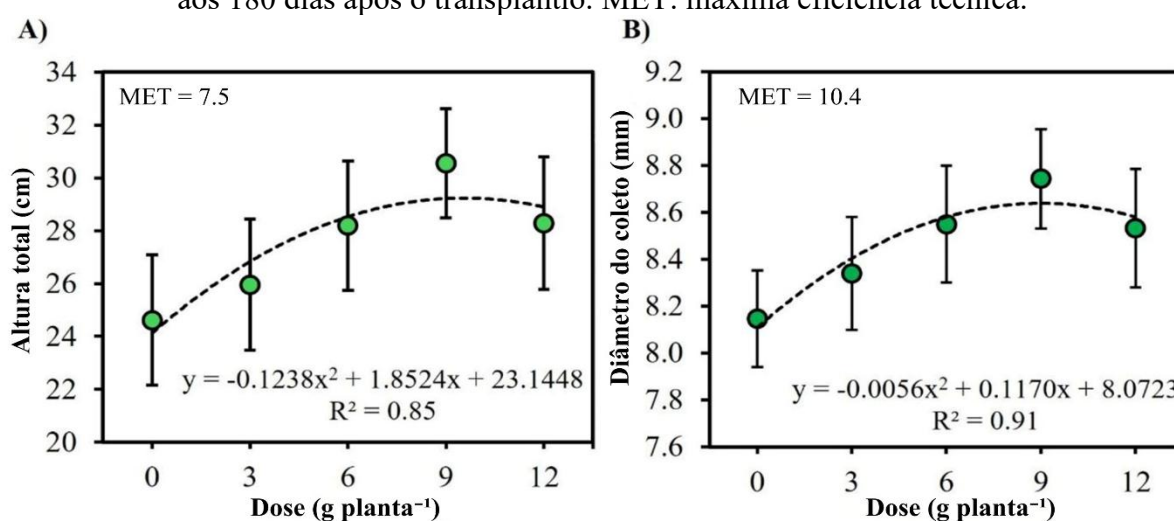
Figura 4 - Curvas de crescimento acumulado em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas *Vouacapoua americana* obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) ao longo de 180 dias após o transplantio.



A análise de regressão para a altura das mudas de *Vouacapoua americana* em função das doses de Osmocote® (Figura 5A) evidenciou ajuste ao modelo quadrático aos 180 dias ($R^2 = 0,85$). Observou-se incremento no crescimento das mudas com o aumento das doses até 9 g planta⁻¹, na qual foi registrada a maior média de altura ($30,5 \pm 2,1$ cm), enquanto o tratamento controle apresentou média de $24,62 \pm 1,58$ cm. As doses intermediárias de 3 e 6 g planta⁻¹ apresentaram médias de $25,96 \pm 1,29$ cm e $28,05 \pm 1,28$ cm, respectivamente, enquanto na dose de 12 g planta⁻¹ observou-se redução no crescimento ($28,29 \pm 1,01$ cm). A análise de comparação de médias indicou diferença estatística significativa apenas entre o tratamento controle (0 g planta⁻¹) e a dose de 9 g planta⁻¹ (Figura 5A).

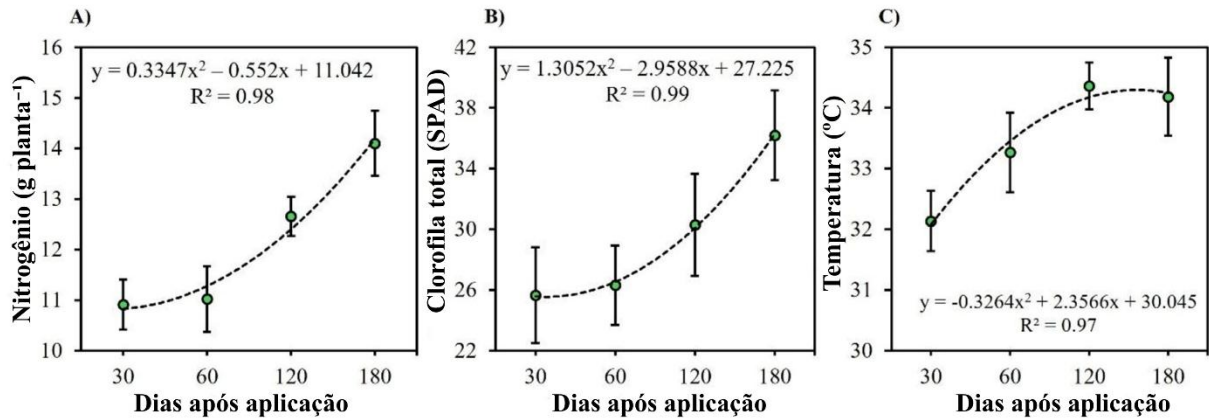
Para o diâmetro do coleto (Figura 5B), também foi observado ajuste ao modelo quadrático ($R^2 = 0,91$), com aumento gradual das médias até a dose de 9 g planta⁻¹, na qual foi registrada a maior média ($8,74 \pm 0,21$ mm). O tratamento controle apresentou média de $8,15 \pm 0,26$ mm, enquanto as doses de 3, 6 e 12 g planta⁻¹ apresentaram médias de $8,34 \pm 0,15$ mm, $8,55 \pm 0,16$ mm e $8,53 \pm 0,16$ mm, respectivamente. Entretanto, a análise de comparação de médias não indicou diferença estatística significativa entre as doses avaliadas. A dose de máxima eficiência técnica (DMET) para altura total e diâmetro do coleto foi de 7,5 e 10,4 g por planta-1, respectivamente.

Figura 5 - Regressão para altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas *Vouacapoua americana* obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) aos 180 dias após o transplantio. MET: máxima eficiência técnica.



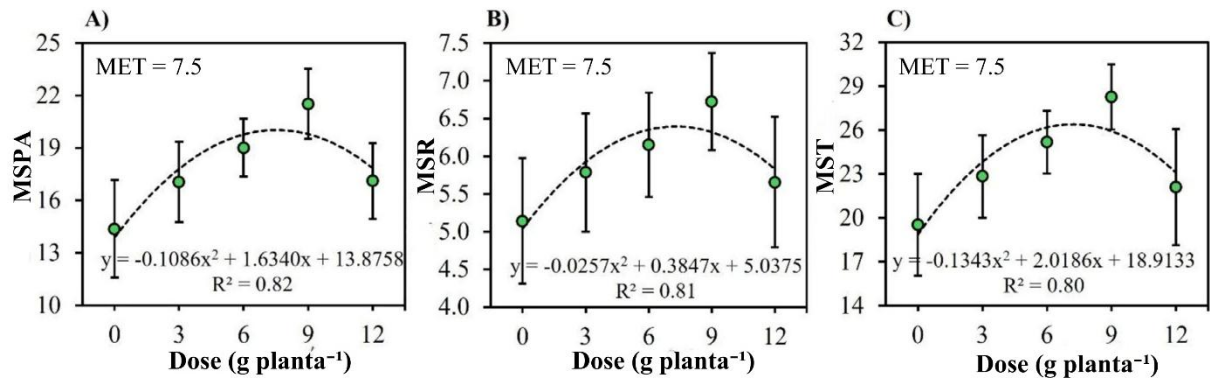
O teor total de nitrogênio e clorofila aumentou ao longo dos 180 dias (Figuras 6A e 6B). O nitrogênio apresentou seu menor valor aos 30 dias ($10,9 \pm 2,07$ g planta⁻¹) e, ao longo do período experimental, aumentou até $14,1 \pm 0,95$ g planta⁻¹ aos 180 dias. A clorofila total variou de $25,6 \pm 3,2$ unidades SPAD no início das avaliações para $36,2 \pm 3,0$ unidades SPAD aos 180 dias. A temperatura foliar apresentou tendência crescente ao longo do tempo, com média de 32 °C aos 30 dias, atingindo 34,1 °C aos 120 dias (Figura 6C).

Figura 6 - A) Regressão para nitrogênio, B) clorofila e C) temperatura das folhas de mudas *Vouacapoua americana* obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g/planta) aos 180 dias após o transplantio.



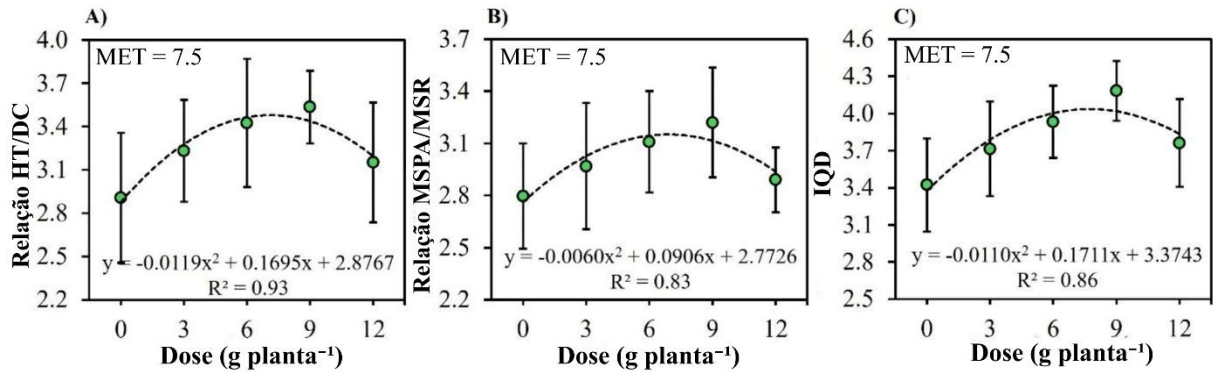
Em relação a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) foi constatada um aumento significativo em relação as diferentes doses de Osmocote® sobre a biomassa das mudas de *V. Americana*. Todas as variáveis se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. Na dose de 9 g planta⁻¹, a MSPA, MSR e MST apresentaram os maiores valores, com médias de $21,53 \pm 1,99$, $6,72 \pm 0,64$ e $28,25 \pm 2,23$ g planta⁻¹ (Figura 7A, 7B e 7C). Para essas variáveis, a dose de máxima eficiência técnica foi estimada em 7,5 g planta⁻¹.

Figura 7 - A) Regressão para massa seca da parte aérea (MSPA), B) massa seca da raiz (MSR) e C) massa seca total de mudas *Vouacapoua americana* obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) aos 180 dias após o transplantio. MET: máxima eficiência técnica.



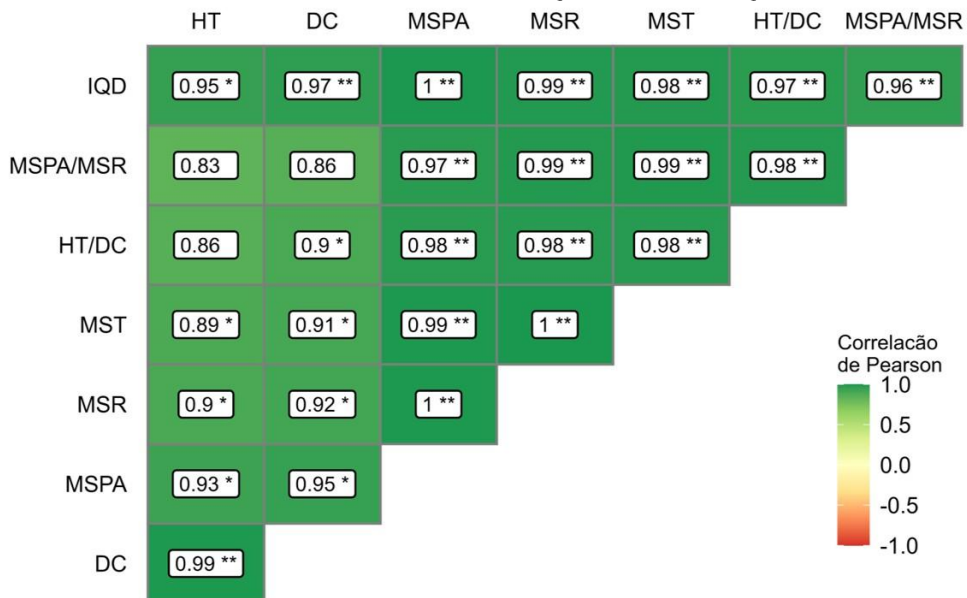
Para a relação altura e diâmetro (HT/DC), massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (MSPA/MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *V. americana*, observou-se que a dose de 9 g de Osmocote® por planta⁻¹, proporcionou maior incremento (Figura 8A, 8B e 8C). A relação HT/DC e MSPA/MSR apresentaram valores médios de $3,54 \pm 0,25$ e $3,22 \pm 0,32$ na dose de 9 g planta⁻¹, respectivamente. A maior média ($4,18 \pm 0,24$) para o IQD, também foi observada na dose de 9 g planta⁻¹. Para essas variáveis, as doses de máxima eficiência técnica foram de 7,5; 7,5 e 7,7 g planta⁻¹, respectivamente.

Figura 8 - A) Regressão para relação entre altura e diâmetro, B) massa seca da parte aérea e massa seca da raiz e C) índice de qualidade de Dickson de mudas *Vouacapoua americana* obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) aos 180 dias após o transplântio. MET: máxima eficiência técnica.



O IQD apresentou alta correlação com as variáveis MSPA, MSR e MST, com valores de 1,00**; 0,99** e 0,98**, respectivamente. O IQD também apresentou alta correlação com a HT, DC e HT/DC (Figura 9). Todas as variáveis correlacionaram-se positivamente com valores $\geq 0,83$. No entanto, nem todas apresentaram correlação significativa. As menores correlações não significativas ocorreram entre HT com MSPA/MSR (0,83^{ns}) e HT com HT/DC (0,86^{ns}).

Figura 9. Correlação de Pearson entre as variáveis morfológicas de mudas de *Vouacapoua americana* em função das doses de Osmocote® (0,0; 3,0; 6,0; 9,0 e 12,0 g planta⁻¹) aos 180 dias após o transplântio. HT = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; HT/DC = Relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto; MSPA = Massa seca da parte aérea; MSR = Massa seca da raiz; MST = Massa seca total; MSPA/MSR = Relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz; DQI = Índice de Qualidade de Dickson.



*p<0.05; **p<0.01

2.4 Discussão

Na dose de $7,5 \text{ g planta}^{-1}$, as mudas apresentaram altura média de $30,5 \pm 2,1 \text{ cm}$ e diâmetro do coleto de $8,7 \pm 0,21 \text{ mm}$, além dos maiores valores de biomassa da parte aérea ($21,53 \pm 1,99 \text{ g planta}^{-1}$). Os resultados obtidos neste estudo confirmam a eficiência do uso de fertilizante de liberação controlada (FLC) na produção de mudas de espécies florestais, sendo a dose de $7,5 \text{ g planta}^{-1}$ de Osmocote® aquela que proporcionou a melhor eficiência técnica para o desempenho morfológico de *Vouacapoua americana*. Esse comportamento pode ser explicado pela saturação da capacidade de absorção e utilização de nutrientes pelas mudas. Até a dose ótima ($7,5 \text{ g planta}^{-1}$), os nutrientes liberados pelo Osmocote® atenderam adequadamente à demanda metabólica das plantas, promovendo crescimento máximo; entretanto, em doses superiores (9 e 12 g planta^{-1}), a taxa de liberação de nutrientes pode exceder a capacidade de absorção radicular e de assimilação fisiológica, resultando em desequilíbrio nutricional ou até toxicidade, tornando-se fator limitante ao crescimento das mudas.

O incremento simultâneo em altura, diâmetro do coleto e acúmulo de biomassa, associado ao maior Índice de Qualidade de Dickson (IQD), demonstra que a dose intermediária (9 g planta^{-1}) favoreceu não apenas o crescimento isolado de variáveis, mas a integração estrutural da muda. Nota-se que o IQD atingiu seu valor mais alto ($4,18 \pm 0,24$), caracterizando mudas mais vigorosas e adaptadas ao plantio em campo, ou, seja, o IQD é maior nas doses de fertilizante em comparação com a ausência do fertilizante (JARDIM *et al.*, 2023). Além disso, IQD superior a 1,0 é indicativo de alta produção de biomassa e maior robustez estrutural (OLIVEIRA *et al.*, 2020), o que reforça que o efeito observado não se restringe ao crescimento em altura, mas que envolve todo o equilíbrio entre as partes da planta.

Para a relação H/DC, valores abaixo de 10 indicam mudas de boa qualidade e maior taxa de sobrevivência em campo, enquanto valores elevados podem aumentar o risco de tombamento (SOUZA *et al.*, 2023), por desbalanceamento entre o crescimento em altura e diâmetro do coleto. Nesse contexto, ao avaliarem mudas de *Annona cacans*, verificou-se que a dose de 8 g L^{-1} de FLC incorporado ao substrato apresentaram precocidade no crescimento em altura e diâmetro do coleto quando comparada as demais doses testadas (SOUZA *et al.*, 2025). De forma semelhante, ao avaliarem as mudas de *Cordia trichotoma* sob diferentes fertilizantes de liberação controlada (Basacote® NPK 15-8-12 e Phusion® 09-40-00) verificaram incrementos significativos em altura da parte aérea, comprimento radicular, massa seca total e IQD, em comparação aos tratamentos sem fertilização. Essa combinação permitiu melhor desenvolvimento da parte radicular e aérea, indicando que o fornecimento prolongado de nutrientes favorece o crescimento inicial das mudas. Embora os estudos tenham sido conduzidos em espécies diferentes de *V. americana*, os resultados observados em *A. cacans* e *C. trichotoma* afirmam padrões de

respostas semelhantes ao indicado no presente estudo. Em ambas as espécies, a aplicação de FLC promoveu um incremento significativo tanto em H/DC quanto no IQD.

A escolha adequada do substrato influencia diretamente o desempenho das mudas, especialmente em espécies de crescimento lento como a *V. americana*. Em uma análise bibliométrica, demonstrou-se que o uso de substratos orgânicos e organominerais locais, com seu potencial biológico elevado, representa uma alternativa vantajosa para a produção de mudas de espécies florestais amazônicas, aliando sustentabilidade e benefícios biológicos no processo de cultivo (RODRIGUES *et al.*, 2025).

A qualidade fisiológica também foi afetada pelas diferentes dosagens de fertilizante, ou seja, os teores de nitrogênio e clorofila, de acordo com os resultados, diminuiram ao longo dos 180 dias, no entanto o nitrogênio apresentou valor máximo na dose intermediária de 9 g planta⁻¹ (13,48 g planta⁻¹), enquanto a clorofila total também atingiu seu pico nesta mesma dose (34,20 SPAD). O nitrogênio é um elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucléicos, coenzimas, clorofilas e metabólitos secundários, todos relacionados de forma direta ou indireta a processos bioquímicos e fisiológicos indispensáveis ao crescimento das plantas (LEAL *et al.*, 2020). A temperatura foliar aumentou gradualmente, variando de 33,20 °C na ausência de adubação para 34,81 °C na maior dose testada.

Os dados evidenciam a existência de um intervalo fisiológico em que a planta responde positivamente às doses aplicadas, antes que o excesso de nutrientes provoque efeitos adversos, demonstrando que doses intermediárias resultam em maior eficiência metabólica. Comportamentos semelhantes ao observado em *V. americana* também foram registrados em outras espécies tropicais com aplicação de FLC. Em *Calophyllum brasiliense*, verificaram incremento foliar de nitrogênio de 14,8 g kg⁻¹ para 17,4 g kg⁻¹, ou seja, o uso do Osmocote® adicionado ao substrato mostra-se eficiente no crescimento inicial das mudas (JARDIM *et al.*, 2023). De forma semelhante, em *Didymopanax morototoni*, verificaram que doses intermediárias de FLC (2-6 g dm⁻³; com ponto ótimo de 3,2 g dm⁻³) favoreceram o crescimento e a eficiência fisiológica, enquanto doses mais elevadas (8 g dm⁻³) deixaram de promover incrementos nas variáveis analisadas (BORGES *et al.*, 2025). Além disso, o uso de FLC, mostra-se vantajoso para espécies que exigem um fornecimento contínuo de nutrientes ao longo do desenvolvimento inicial, como espécies florestais de crescimento lento (RODRIGUES *et al.*, 2025), uma vez que a liberação gradual mantém maior estabilidade nutricional no substrato e favorece o desenvolvimento equilibrado das mudas.

Observa-se que o aumento na disponibilidade de nutrientes favorece o crescimento inicial das plantas, propiciando um melhor desempenho morfológico das mudas, conforme observado em estudos com diferentes espécies cultivadas em viveiro (MENEGATTI *et al.*, 2022; SOUZA *et al.*, 2020). Além

disso, a definição da dose ideal permite a eficiência no emprego do insumo, evitando desperdícios e custos desnecessários (MENEGATTI *et al.*, 2022).

Além disso, a relação da massa seca da parte aérea com a massa seca da raiz (MSPA/MSR) encontrada nesta pesquisa indica um equilíbrio na alocação de biomassa nas mudas tratadas com 9 g planta⁻¹, padrão também identificado por Silva *et al.* (2025) em *C. trichotoma*, quando avaliaram a referida razão entre as massas MSPA/MSR como parâmetro indicativo de qualidade, especialmente em condições de viveiro com fertilização controlada.

A MSR tem sido considerada um dos melhores parâmetros para classificar mudas de qualidade, indicando rusticidade, possuindo ligação direta com a sobrevivência e o desempenho das mudas após o plantio em campo (DIAS *et al.*, 2022). Esses autores também afirmam que a relação MSPA/MSR ideal deve ter valor próximo a 2,0. Valores referentes a essa relação são geralmente maiores em substratos de baixa fertilidade, uma estratégia da planta para retirar o máximo de nutriente naquela condição (DIAS *et al.*, 2022). O comportamento entre MSPA e MST são similares, uma vez que, a massa seca da parte aérea representa maior porcentagem da massa seca total, fato confirmado pela correlação de Pearson (JARDIM *et al.*, 2023).

Assim, este estudo evidenciou que a dose adequada de fertilizante é fundamental para a produção de mudas de qualidade e, a utilização de fertilizante de liberação controlada, quando aplicada em dosagem adequada, promovendo um melhor desempenho em viveiro, contribuindo para maior eficiência na produção de mudas.

2.5 Conclusões

A aplicação de 7,5 g planta⁻¹ do fertilizante de liberação controlada Osmocote® promoveu o desempenho morfofisiológico mais eficiente das mudas de *Vouacapoua americana*, apresentado na maioria das variáveis morfológicas avaliadas, enquanto que a dose de 7,7 g planta⁻¹ proporcionou a melhor qualidade das mudas com base no Índice de Qualidade de Dickson (IQD); dessa forma, recomenda-se a utilização de 7,5 g planta⁻¹ de Osmocote® por representar a dose de máxima eficiência técnica para a produção de mudas da espécie.

2.6 Referências bibliográficas

ARAGÃO, I. L. G.; ALMEIDA, S. S. Estrutura ecológica comparada de populações de acapu (*Vouacapoua americana* Aubl., Caesalpinaceae) em duas florestas de terra-firme na Amazônia Oriental. In: LISBOA, P. L. B., ed. *Caxiuanã*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, vol. I, pp. 273–290, 1997

ABDULLAH, H. S.; KASIM, S.; MUSA, A. M.; AZIM, A. A. A.; AMIN, A. M. A review on industrial by-products as materials to coat compound fertilizer. **International Journal for Multidisciplinary Research**, vol. 5, no. 5, pp. 1–20, 2023. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.7219>

ANDRIGUETTO, K. V.; WAIMER, G. C.; SANTOS, B. M. S.; TURCHETTO, F.; GRIEBELER, A. M.; ARAUJO, M. M. The influence of fertilizer type and *Trichoderma harzianum* inoculation on the growth and physiology of young plants of *Cordia americana*. **Floresta**, v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.89616>

BORGES, M. de M. R.; CASTRO, P. H. C. de; SANTOS, M. D. C.; SILVA FILHO, D. P.; GAMA, M. A. P.; ARAÚJO, D. G. de. Crescimento de mudas de *Didymopanax morototoni* em função de doses de fertilizante de liberação controlada. **Revista Árvore**, [S. l.], v. 49, n. 1, 2025. DOI: 10.53661/1806-9088202549263900.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Portaria n. 148, de 7 de junho de 2022. *Diário Oficial da União*, seção 1, n. 108, pp. 74–162, 2022.

CRAWLEY, M.J., 2012. **The R book**. John Wiley & Sons, 2012.

CRUZ, E. D.; PEREIRA, A. G. Germinação de sementes de espécies amazônicas: *acapu* (*Vouacapoua americana* Aubl.). **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, PA, Brazil. (Comunicado Técnico, 288), 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>>. Acesso em: 10 set. 2025.

CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; ALMEIDA, R. S.; DINIZ, P. C.; MELO, L. A.; VENTURIN, N. Initial growing and management in *Eucalyptus* clones plantations using controlled release fertilizers. **Floresta**, [S. l.], v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.87153>

DIAS, C. R. G.; EMÍLIO, M.; SERROTE, C. M. L. Evaluation of the growth of seeds of *Azadirachta indica* A. Juss on different substrates. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, vol. 21, no. 2, pp. 168–175, 2022. <https://doi.org/10.5965/223811712122022168>

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, no. 1, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

DI VAIO, C.; DALLA VECCHIA, F.; MASIA, A.; DEIANA, P.; PAZZONA, A. Slow-release fertilization and *Trichoderma harzianum*-based biostimulant for the nursery production of young olive trees (*Olea europaea* L.). **Agronomy Research**, vol. 19, no. 3, pp. 1396–1405, 2021. <https://doi.org/10.15159/AR.21.143>.

FLORES, R. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; OLIVEIRA, D. P. Quality of *Pinus taeda* L. seedlings in response to fertilization with controlled-release fertilizers. **Revista Árvore**, vol. 49, no. 1, e18380, 2025. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/18380/14574>> Acesso em: 11 set. 2025.

JARDIM, I. N.; MATOS, M. N.; ROSÁRIO, M. P.; HAMADA, M. O. S. Osmocote® proporciona melhores mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. **Scientia Plena**, v. 19, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.090203>

JARDIM, I. N.; OLIVEIRA, J. C.; HAMADA, M. O. S.; OLIVEIRA, I. A. Osmocote® promotes positive responses in the growth and nutrition of *Lecythis lurida* seedlings (Lecythidaceae). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, vol. 23, no. 4, pp. 565–574, 2024. <https://doi.org/10.5965/223811712342024565>.

LEAL, Y. H.; SOUSA, V. F. O.; DIAS, T. J.; SILVA, T. I.; LEAL, M. P. S.; SOUZA, A. G.; LUCENA, M. F. R.; RODRIGUES, L. S.; SMIDERLE, O. J. Edaphic respiration in bell pepper cultivation under biological fertilizers, doses and application times. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, vol. 32, no. 6, pp. 434–442, 2020. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i6.2118>

MAESTRI, M. P.; RUSCHEL, A. R.; PORRO, R.; AQUINO, M. G. C.; MILÉO, R. C. Community Forest Management of the Virola Jatobá Sustainable Development Project: Scenarios for the exploration of *Vouacapoua americana* Aublet. **Biodiversidade Brasileira**, vol. 11, no. 1, pp. 1–17, 2021. Disponível em: <<https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/1494/1220>>. Acesso em: 10 ago. 2025.

MENEGATTI, R.; SOUZA, A. G.; BIANCHI, V. J. Nutritional status of ‘BRS Rubimel’ peach plants in the nursery as a function of the rootstock. **Agronomy**, vol. 44, no. 1, p. e54327, 2022. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54327>

MILHOMEM, C. A.; DIONISIO, L. F. S.; SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J. Bioregulators Stimulate® and Acadian® as growth stimulants for *Mezilaurus itauba* TAUB. EX MEZ seedlings. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 861–874, 2025. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n3p861>

MAUÉS, M. M.; SANTOS, L. F. C. Biologia floral do parapará (*Jacaranda copaia* (Aublet) D. Don — Bignoniaceae). In: Simpósio Silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém, PA. Resumos expandidos. Belém, PA: **Embrapa-CPATU: DFID**, pages 20-24, 1999. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/394954>>. Acesso em: 10 ago. 2025.

OLIVEIRA, H. F. E.; XAVIER, P. S.; MESQUITA, M.; CAMPOS, H. M.; SALOMÃO, L. C.; VALE, L. S. R. Desenvolvimento inicial de mudas de mogno africano em função de substratos e lâminas de irrigação / Initial development of african mahogany seedling in function of substrates and irrigations levels. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, no. 4, pp. 20475–20482, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-283>

PARFENIUK, A.; MINERALOVA, V.; BEZNOSKO, I.; LISHCHUK, A.; BORODAI, V.; KRUT, V. Mycobiota of the rhizosphere of raspberry plants (*Rubus idaeus* L.) under the influence of varieties and new fertilizers in conditions of organic production. **Agronomy Research**, vol. 18, pp. 2550–2558, 2020. <https://doi.org/10.15159/AR.20.182>

PAULA, J. C. B.; JÚNIOR, W. A. R.; SHIMIZU, G. D.; MEN, G. B.; FARIA, R. T. Fertilizante de liberação controlada no crescimento inicial da orquídea *Phalaenopsis* sp. **Revista Cultura Agrônômica**, vol. 29, no. 2, pp. 289–299, 2020. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n2p289-299>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 16 ago. 2025.

RODRIGUES, J. I. M.; MILHOMEM, C. A.; SANTIAGO, W. R.; SANTOS JÚNIOR, R. F.; MARTINS, W. B. R.; OLIVEIRA, F. A. Organic and organomineral substrates are the most used for the production of seedlings of amazonian forest species. **Nativa**, vol. 13, no. 2, pp. 178–188, 2025. <https://doi.org/10.31413/nat.v13i2.18959>

ROUBUSTE, R. R.; SALDANHA, C. W.; MISSIO, E. L.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; MALDANER, J. Controlled release fertilizer and container volume improve the seedling morphophysiology of *Lonchocarpus muehlbergianus* HASSL. **Floresta**, vol. 55, no. 1, p. e95139, 2025. <https://doi.org/10.5380/uf.v55i1.95139>

SHIMIZU, G. D.; MARUBAYASHI, R. Y. P.; GONÇALVES, L. S. A. AgroR: experimental statistics and graphics for agricultural sciences. R package, versão 1.3.6, 2024.

SILVA, B.; HERRERA, R.; GARCIA, M.; ROCHA, T.; RODRIGUES, H.; SILVA, G. A. S.; CRUZ, C. P. Featuring the phenological behavior of *Vouacapoua americana* Aubl. **Authorea Preprints**, 2023. <https://doi.org/10.22541/au.168837447.75307500/v1>

SILVA, T. R.; MILHOMEM, C. A.; SILVA, D. C. V.; DIAS, F. F.; SILVA, C. M.; CABRAL, V. B.; BARDALES-LOZANO, R. M.; SCHWARTZ, G.; DIONISIO, L. F. S. Seedling quality of *Cordia trichotoma* under different container volumes and fertilizers. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 85, p. e288394, 2025. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.288394>

SOUZA, A. G.; ALVES, E. U.; MENEGATTI, R. D.; SMIDERLE, O. J. Controlled-release fertilizer doses affect the initial growth and physiological and nutritional mechanisms of *Annona cacans*. In: OLIVEIRA, J.C. de (ed.). **Avanços em agricultura e tecnologia** [S.l.]: Editora Científica Digital, Chap. 2, pp. 27–37, 2025. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/241218442.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J.; MONTENEGRO, R. A.; MORIYAMA, T. K.; DIAS, T. J. Controlled-release fertiliser and substrates on seedling growth and quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima. **Journal of Agricultural Studies**, vol. 8, no. 3, pp. 70–80, 2020. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16363>

SOUZA, C. O.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Biochar as substrate conditioner for the production of seedling of native forest species. **Research, Society and Development**, vol. 12, no. 9, p. e2712943156, 2023. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i9.43156>

SPANNER, G. C.; HERRERA, R. C.; ALVAREZ, W. P.; LIMA, L. O.; LIMA, A. J. N. Potential distribution of *Vouacapoua americana* Aubl. in the Brazilian Amazon and the impact of the change in land use. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 14, no. 2, pp. 1094–1115, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1094-1115>

VARTY, N.; GUADAGNIN, D. L. *Vouacapoua americana*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: [online], e.T33918A9820054, pp. 25–34, 1998. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33918A9820054.en>>. Acesso em: 22 set. 2025.

WORLD FLORA ONLINE. *Vouacapoua* Aubl. World Flora Online. 2025. Disponível em: <<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040438>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N. J.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. New York: Springer, 2009.

<https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

3 RESGATE DE PLÂNTULAS DA REGENERAÇÃO NATURAL E USO DE OSMOCOTE® PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *JACARANDA COPAIA* (AUBL.) D. DON

RESUMO

A produção de mudas de espécies florestais nativas enfrenta desafios significativos, incluindo a dificuldade na coleta de sementes. *Jacaranda copaia* é uma espécie pioneira com ampla distribuição na Amazônia, com importante papel ecológico e econômico. Este estudo avaliou a taxa de sobrevivência de *J. copaia* pelo método de resgate de plântulas e o uso de diferentes doses do fertilizante de liberação controlada Osmocote® (15-09-12) após o transplântio para o viveiro. Plântulas de diferentes matrizes foram resgatadas da regeneração natural e avaliadas em termos de sobrevivência aos 30 dias após o resgate. Para avaliar o crescimento e a qualidade das mudas, foram testadas quatro doses de Osmocote® (0; 1,5; 3,0; 4,5 g planta⁻¹). A taxa de sobrevivência foi de 84%. A dose de 3,0 g planta⁻¹ de Osmocote® foi a mais eficiente, promovendo aumentos significativos no crescimento de mudas. Aos 180 dias, observou-se aumento de 113,3% na altura e 129,9% no diâmetro do coleto em relação ao controle. Houve ainda aumento significativo nas massas secas da parte aérea (2,28±0,47 g), raiz (0,86±0,17 g) e total (3,14±0,54 g), com relações equilibradas entre parte aérea e raiz (3,69±0,64) e maior índice de qualidade de Dickson (0,54±0,12). Os modelos de regressão ajustados para todas as variáveis apresentaram coeficientes de determinação (R²) elevados, variando entre 98% e 99%, indicando forte associação entre as doses aplicadas e os parâmetros analisados. Por outro lado, a dose de 1,5 g planta⁻¹ apresentou melhor eficiência econômica relativa, configurando-se como alternativa viável para sistemas de produção com menor custo. Os resultados evidenciam que o uso de fertilizante de liberação controlada é uma técnica eficaz para melhorar o desempenho de mudas nativas após o transplântio da floresta para o viveiro, sendo especialmente recomendável para projetos de restauração ecológica.

Palavras-chave: Espécies florestais. Transplântio de mudas. fertilizante de liberação controlada.

ABSTRACT

Seedling production of native tree species faces significant challenges, including difficulty in collecting seeds. *Jacaranda copaia* is a pioneer species with wide distribution in Amazonia, with an important ecological and economic role. This study evaluated the survival rate of *J. copaia* by the seedling rescue method and the use of different doses of the controlled-release fertilizer Osmocote (15-09-12) on seedling quality. Seedlings from different matrices were

rescued from natural regeneration and evaluated for survival 30 days after rescue. To evaluate seedling growth and quality, four doses of Osmocote (0; 1.5; 3.0; 4.5 g plant⁻¹) were tested. The overall survival rate was 84%. The dose of 3.0 g plant⁻¹ of Osmocote was the most efficient, promoting significant increases in the growth of *J. copaia* seedlings. At 180 days, there was a 113.3% increase in height and 129.9% in stem collar diameter compared to the control. There was also a significant increase in shoot dry mass (2.28±0.47 g), root dry mass (0.86±0.17 g), and total dry mass (3.14±0.54 g), with balanced shoot-to-root dry mass ratios (SDM/RDM = 3.69±0.64) and a higher Dickson quality index (0.54±0.12). The regression models fitted for all variables showed high coefficients of determination (R²), ranging from 98% to 99%, indicating a strong association between the applied doses and the analyzed parameters. The results show that the use of controlled-release fertilizer is an effective technique to improve the performance of native seedlings, being especially recommended for ecological restoration and reforestation projects.

Keywords: Forest species, Seedling transplantation, controlled-release fertilizer.

3.1 Introdução

A nutrição adequada das mudas em viveiro é um fator determinante para o sucesso do estabelecimento de espécies florestais em campo, influenciando diretamente o crescimento inicial, a qualidade morfofisiológica e a sobrevivência das plantas após o transplântio. Para garantir o sucesso na restauração florestal com elevada diversidade ecológica, algumas técnicas alternativas de produção de mudas de espécies nativas têm sido adotadas. Uma delas é a transferência de plântulas e indivíduos jovens da regeneração natural de florestas remanescentes, de fragmentos florestais ou de reflorestamentos para viveiros antes do plantio definitivo no sítio (MIRANDA NETO *et al.*, 2019). Essa abordagem permite a produção de mudas, principalmente de espécies com sementes dispersas pelo vento ou com dificuldades de germinação, eliminando etapas de coleta, beneficiamento e armazenamento de sementes, bem como tratamentos para superação de dormência.

Embora ainda sejam necessários aprimoramentos para aumentar a sobrevivência das mudas, essa metodologia favorece a adaptação das plantas ao ambiente local, contribui para a conservação do material genético de árvores matrizes e complementa a coleta de sementes, ampliando a diversidade de espécies disponíveis nos viveiros (RONDON NETO, 2023). As plântulas resgatadas devem estar em estágios iniciais de desenvolvimento e necessitam de

adequado suprimento nutricional para atingir padrões de qualidade ideais para o plantio em campo.

No entanto, a produção de mudas florestais ainda é frequentemente baseada no uso de fertilizantes convencionais, que liberam nutrientes de forma rápida e podem resultar em perdas por lixiviação, reduzindo a eficiência do uso dos nutrientes e podendo comprometer o desenvolvimento equilibrado das plantas. Nesse contexto, os fertilizantes de liberação controlada (FLC) surgem como uma alternativa promissora, pois disponibilizam nutrientes de forma gradual, em função das condições ambientais, como temperatura e umidade. Esses fertilizantes são revestidos por polímeros biodegradáveis e contêm macro e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio (JARDIM *et al.*, 2023a).

Estudos demonstram que o uso de FLC pode promover melhorias significativas no crescimento e na eficiência nutricional de mudas. Em mudas de *Theobroma cacao* L., por exemplo, a aplicação desse tipo de fertilizante resultou em aumento da altura, diâmetro e absorção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo (JARDIM; SILVA, 2023b). Embora se trate de espécie distinta, esses resultados evidenciam o potencial dos FLC na produção de mudas arbóreas, indicando que a liberação gradual de nutrientes pode favorecer o crescimento inicial de espécies florestais nativas. Dessa forma, compreender as necessidades nutricionais específicas e as doses adequadas de fertilizantes é essencial para otimizar o crescimento das plantas, reduzir custos com insumos e promover mudas mais vigorosas e resistentes ao estresse.

Entre os fertilizantes de liberação controlada, destaca-se o Osmocote®, amplamente utilizado na produção de mudas, composto por grânulos revestidos por uma camada polimérica que regula a difusão dos nutrientes no substrato. Esses fertilizantes contêm nutrientes solúveis em água, cuja liberação é controlada pelo revestimento, permitindo fornecimento gradual e maior eficiência no uso de nutrientes (GOVIL *et al.*, 2024). No caso do Osmocote®, a água penetra no grânulo, dissolve os nutrientes e os libera gradualmente, reduzindo perdas por lixiviação e favorecendo o crescimento uniforme das mudas.

Apesar dos avanços no uso de fertilizantes de liberação controlada, ainda existem lacunas quanto à definição de doses adequadas para espécies florestais nativas da Amazônia, especialmente quando associadas a técnicas como o resgate de plântulas. Nesse contexto, destaca-se a espécie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don., popularmente conhecida como parará ou caroba, pertencente à família Bignoniaceae. Trata-se de uma espécie pioneira com ampla distribuição na floresta amazônica, podendo atingir entre 25 e 35 m de altura e 90 cm de diâmetro à altura do peito. A espécie apresenta múltiplos usos, sendo empregada como planta medicinal, ornamental, na arborização urbana e como fonte de madeira, utilizada na fabricação

de móveis, utensílios domésticos, embalagens, papel e celulose (FERNANDES, 2021; LOHMANN *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2024).

Diante disso, este estudo busca contribuir para a produção eficiente de mudas de *J. copaia*, fornecendo subsídios científicos para o aprimoramento das técnicas de manejo nutricional em viveiros. Espera-se, assim, fortalecer a integração entre ciência, sustentabilidade e produção florestal, contribuindo para a melhoria da sobrevivência das mudas em campo, redução do tempo de permanência em viveiro e diminuição dos custos de produção (FREITAS *et al.*, 2022).

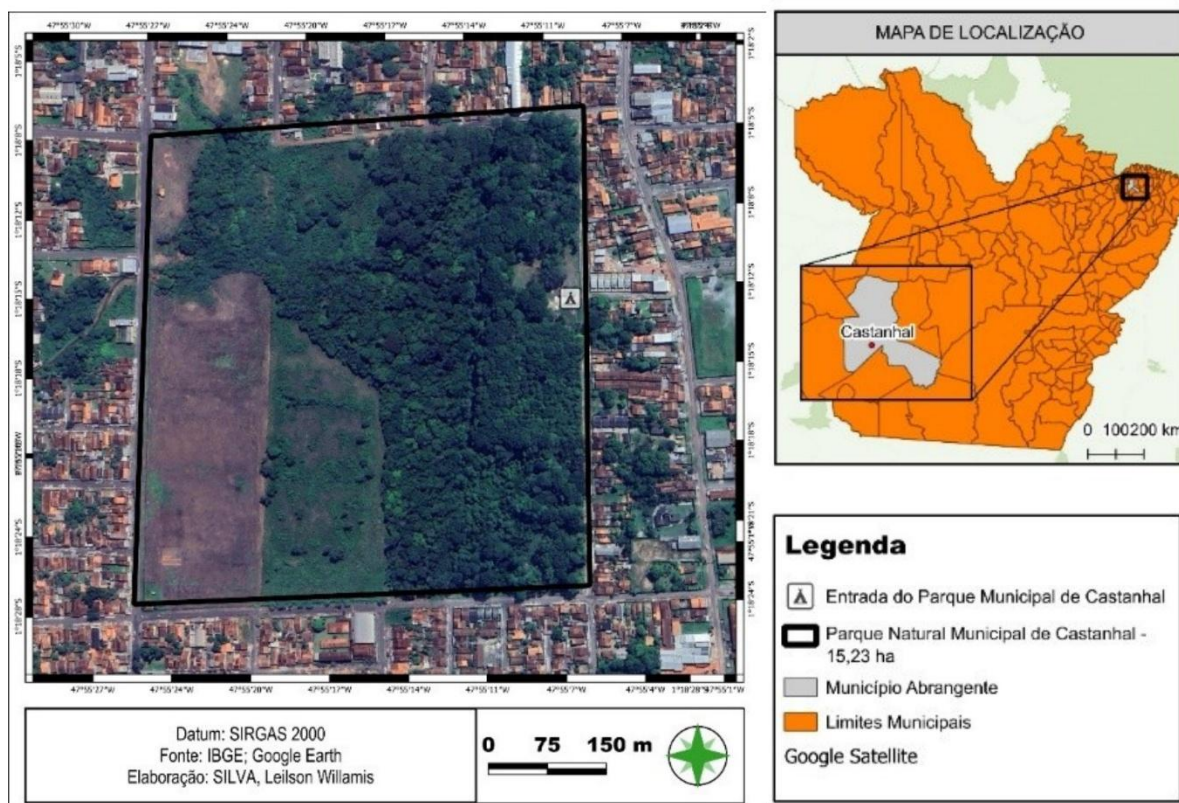
Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a sobrevivência de plântulas após o transplântio da floresta para o viveiro, bem como analisar o crescimento inicial em função de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada Osmocote®.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Área de estudo

O resgate das plântulas de *Jacaranda copaia* foi realizada no Parque Natural Municipal de Castanhal, PA, Brasil (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Af, ou seja, tropical, com índice de precipitação anual de 2800 mm e temperatura média de 26,5 °C (MORAES *et al.*, 2022).

Figura 1- Área de estudo localizada no Parque Natural Municipal de Castanhal no município de Castanhal, PA, Brasil.



Após a identificação das matrizes, foram selecionados 20 indivíduos adultos, utilizados como matrizes na área de estudo. As matrizes foram escolhidas aleatoriamente, considerando indivíduos com presença de regenerantes em seu entorno. A partir dessas matrizes foram coletados 400 indivíduos regenerantes, com altura de aproximadamente 2 cm, os quais foram retirados do solo com o auxílio de uma pá de jardinagem, de forma cautelosa, visando manter a integridade do sistema radicular das plantas (Figuras 2B e 2C). Após o resgate, as plântulas foram transportadas para o viveiro florestal da Universidade do Estado do Pará, *Campus Castanhal*, onde permaneceram em bandejas durante 30 dias em processo de aclimação. As plântulas ficaram separadas em quatro repetições de 100 plantas cada, no mesmo solo de floresta de onde foram retiradas. Ao final do período de aclimação, foi realizada a percentagem de sobrevivência.

Posteriormente, foram selecionadas 80 plântulas para o uso no experimento com fertilização, as quais foram repicadas para tubetes de 100 cm³, preenchidos com fibras de coco e enriquecidos com as doses planejadas de Osmocote Plus® NPK 15-09-12 com adição de 1,3% de Mg, 6% de S, 0,05% de Cu, 0,46% de Fe, 0,02 de Mo, com tempo de liberação de nutrientes em torno de cinco meses, conforme especificações do fabricante. Com isso, as plântulas foram colocadas em um viveiro com 80% de sombreamento, onde permanecerem por 180 dias onde foram irrigadas três vezes ao dia (8:00; 13:00 e 18:00h). O substrato utilizado para produção de

mudas foi composto de solo de floresta + substrato comercial “Carolina Soil”, composto de turfa, vermiculita, PFTI** e calcário (1:1) (Figuras 1D).

Figura 2 - Metodologia de resgate de plântulas *Jacaranda copaia* desde a fase de identificação das matrizes (A), transplântio dos indivíduos da regeneração natural (B e C) até à fase de viveiro para produção de mudas (D).



3.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro doses de Osmocote® (15-09-12), incluindo o tratamento controle, sem influência de Osmocote® e quatro repetições de cinco plantas cada, totalizando 20 mudas por tratamento. As doses testadas foram: 0; 1,5; 3,0; e 4,5 g planta⁻¹.

3.2.3 Coletas de dados

As variáveis altura e diâmetro do coleto (DC) foram avaliadas a cada 30 dias (Figura 3A). Aos 180 dias, foi avaliado as seguintes variáveis: a) altura total da parte aérea (HT), b) diâmetro do coleto, c) taxa de crescimento relativo, d) massa seca da parte aérea (MSPA), e) massa seca da raiz (MSR), f) massa seca total, g) relação massa MSPA/MSR, e h) índice de qualidade de Dickson (IQD), no qual o mesmo foi calculado de acordo com a Equação (1), proposto por (DICKSON *et al.*, 1960).

$$IQD = \frac{MST (g)}{\frac{HT (cm)}{DC (mm)} \frac{MSPA (g)}{MSR (g)}} \quad (1)$$

Para medir o diâmetro do coleto foi utilizado um paquímetro digital (precisão = 0,01 mm) e para o comprimento da parte aérea foi utilizado uma régua graduada em centímetros.

Para avaliar a massa seca, as plântulas foram divididas em parte aérea e raízes por meio de corte à altura do diâmetro do coleto (Figura 3B). Além do IQD, foi calculada a taxa de crescimento relativo (TCR) para altura total e diâmetro do coleto, com base nas medições sucessivas realizadas ao longo do período experimental, utilizando a relação logarítmica entre duas avaliações consecutivas, conforme a Equação (2). Como as avaliações de crescimento foram realizadas a cada 30 dias, a TCR foi calculada para os intervalos entre medições consecutivas (30–60, 60–90, 90–120, 120–150 e 150–180 dias após o transplântio).

$$TCR = \frac{\ln(X_2) - \ln(X_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

em que:

TCR = taxa de crescimento relativo;

X_1 = valor da variável na primeira avaliação;

X_2 = valor da variável na avaliação subsequente;

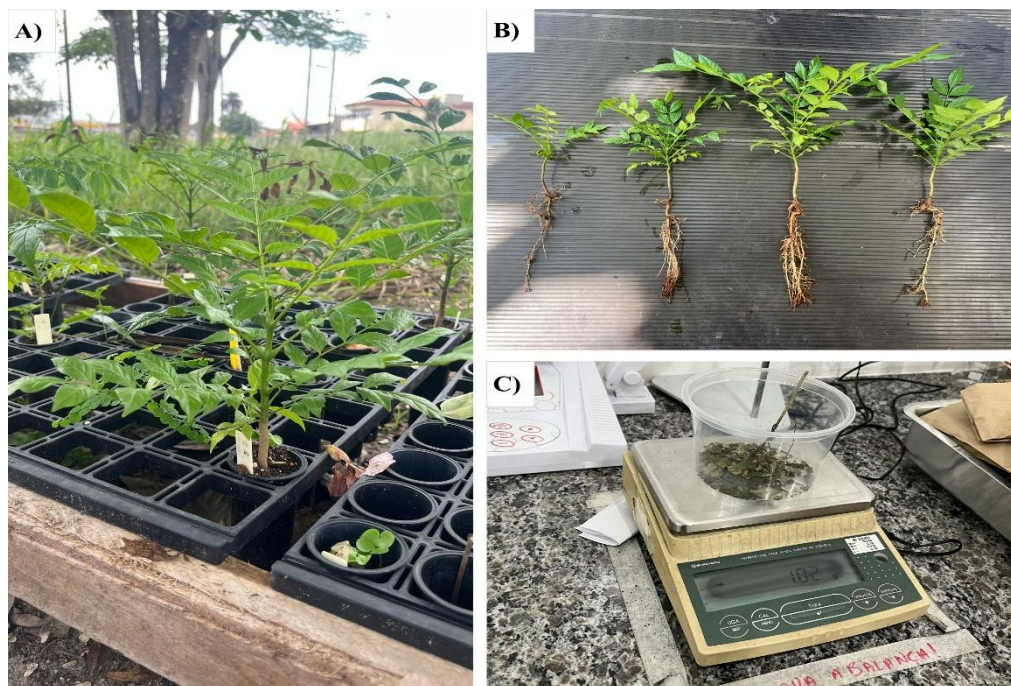
t_1 = tempo da avaliação inicial;

t_2 = tempo da avaliação final.

Para este estudo, X corresponde às variáveis altura total (HT) e diâmetro do coleto (DC).

Ambas as partes foram colocadas separadamente em sacos de papel Kraft, identificadas e secas em estufa a 70 °C durante 72 horas até atingirem massa constante. Imediatamente após a retirada da estufa, as amostras foram pesadas em balança analítica (precisão = 0,001 g) para obtenção da massa seca da parte aérea e da raiz (Figura 3C).

Figura 3 - Avaliação das variáveis a cada 30 dias (A), corte das plântulas (parte aérea e raízes) (B) e pesagem da massa seca da parte aérea e da raiz da espécie de *Jacaranda copaia* (C).



3.2.4 Análises de dados

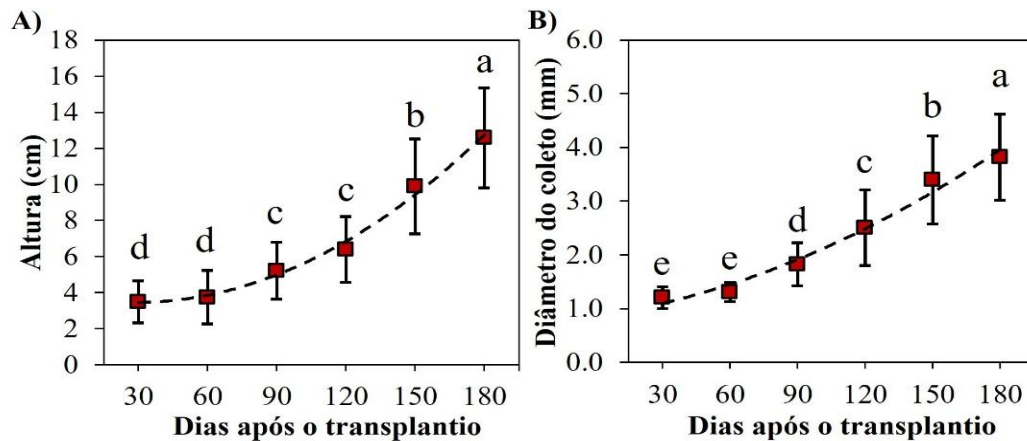
Para verificar os pressupostos da análise de variância (ANOVA), as variáveis coletadas foram analisadas quanto à: a) normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e visualização com o gráfico QQ plot (CRAWLEY, 2012; ZUUR *et al.*, 2009), b) homocedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$), e c) independência entre unidades experimentais. Uma vez atendidos esses pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Havendo diferenças significativas entre os dados, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). O crescimento em altura e o diâmetro do coleto foram submetidos à ANOVA de medidas repetidas no tempo. Realizou-se à análise de regressão para as doses de Osmocote® (0; 1,5;3,0; 4,5 g planta⁻¹) aos 180 dias. O modelo de regressão para cada variável foi selecionado considerando a significância dos coeficientes das variáveis e o maior coeficiente de determinação (R^2). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R versão 4.5.2.

3.3 Resultados

A percentagem de sobrevivência de plântulas de *Jacaranda copaia* nos primeiros 30 dias após o resgate foi de 84%. As curvas de crescimento acumulado indicaram aumento progressivo da altura e do diâmetro do coleto das mudas de *Jacaranda copaia* ao longo do período experimental, com maiores valores observados aos 180 dias após o transplante, diferindo significativamente em relação aos demais períodos avaliados ($F_{1,436} = 588,2$; $p <$

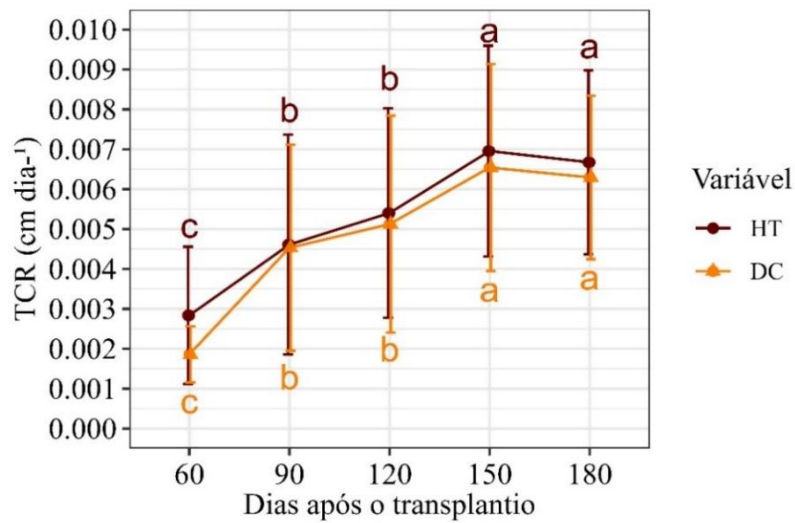
0,05). Aos 180 dias, as plantas tratadas com o fertilizante Osmocote® apresentaram altura média de $12,6 \pm 2,8$ cm de altura (Figura 4A) e média de $3,8 \pm 0,8$ mm de diâmetro coleto (Figura 4B).

Figura 4 - Curvas de crescimento acumulado em altura (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas de *Jacaranda copaia* ao longo de 180 dias após o transplântio. Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si ao longo do tempo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).



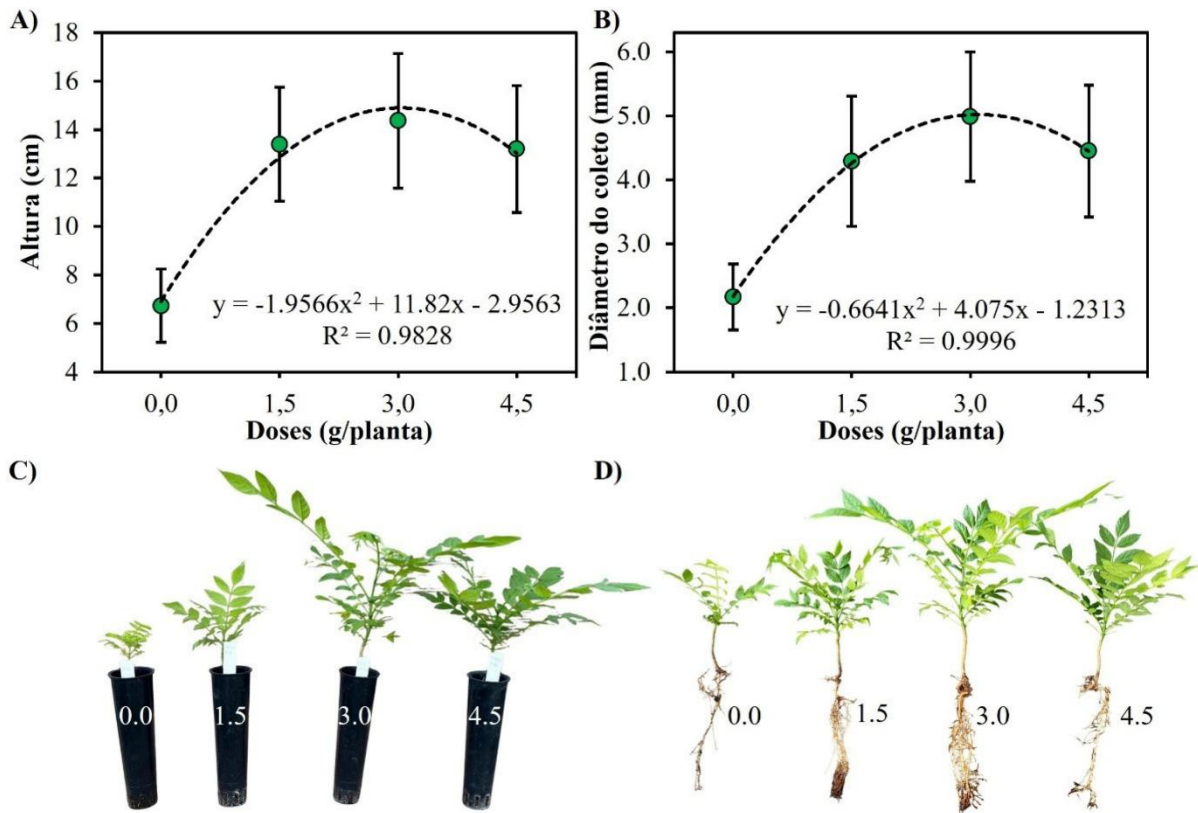
Para a TCR, verificou-se que os maiores incrementos ocorreram entre os intervalos de 60–90 e 120–150 dias após o transplântio, com valores máximos de $0,0070 \text{ cm dia}^{-1}$ para altura total e $0,0065 \text{ cm dia}^{-1}$ para diâmetro do coleto. Esses intervalos apresentaram crescimento significativamente superior em relação aos períodos anteriores ($F_{1;363} = 118,3; p < 0,05$) ($F_{1;363} = 118,3; p < 0,05$, Figura 5).

Figura 5 - Taxa de crescimento relativo (TCR) em altura total (HT) e diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Jacaranda copaia* ao longo de 180 dias após o transplântio. Médias seguidas por letras diferentes da mesma cor diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).



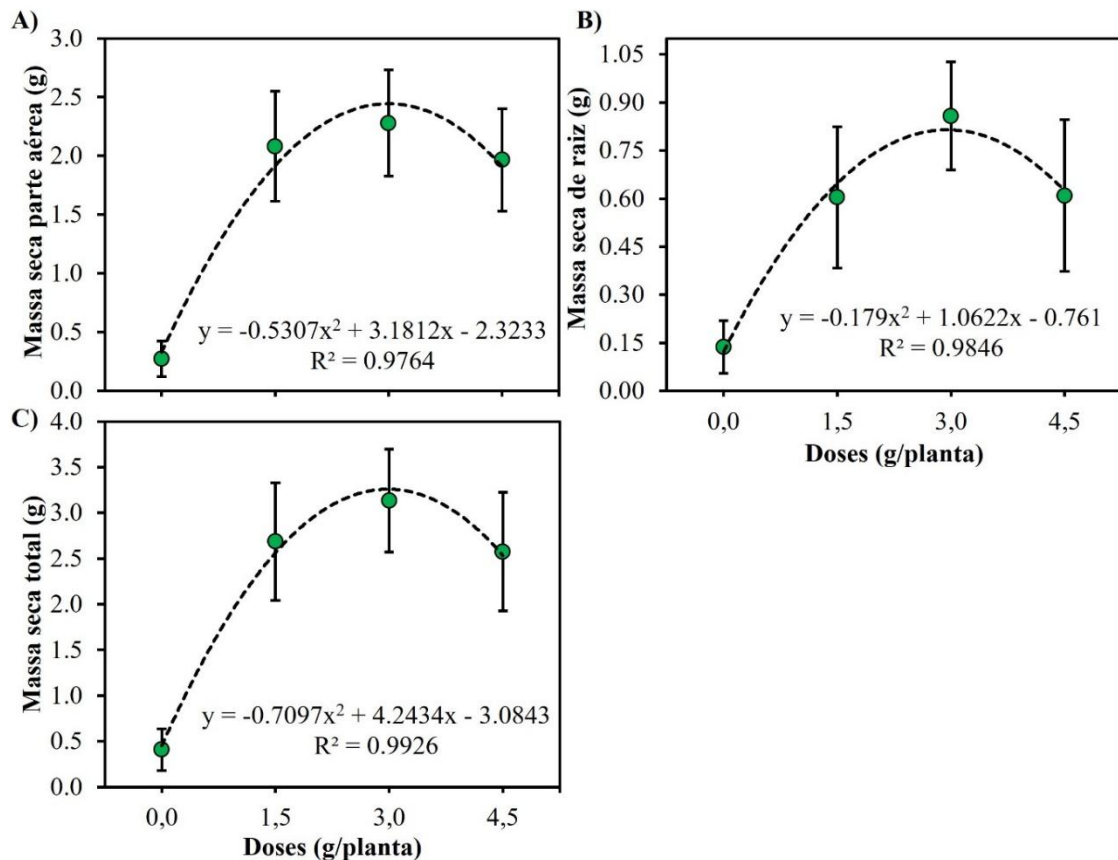
A análise de regressão indicou efeito significativo das doses de Osmocote® sobre a altura total e diâmetro do coleto das mudas de *J. copaia* aos 180 dias ($p = 0,001$), ajustando-se ao modelo quadrático (Figura 6A e 6B). As mudas apresentaram maior crescimento na dose de 3,0 g planta⁻¹, com médias de 13,25 cm de altura total e 4,49 mm de diâmetro do coleto, correspondendo a incrementos de 113,3% e 129,9%, respectivamente, em relação ao tratamento controle. As doses de 1,5 e 4,5 g planta⁻¹ também promoveram aumento no crescimento quando comparadas ao controle apresentando médias de 12,48 e 12,37 cm de altura total, e 4,32 e 4,33 mm de diâmetro do coleto, respectivamente. No entanto, o tratamento sem aplicação de Osmocote® apresentou as menores médias, com 6,92 cm de altura e 2,25 mm de diâmetro do coleto. O modelo de regressão apresentou coeficientes de determinação elevados ($R^2 = 0,98$ para altura e $R^2 = 0,99$ para diâmetro do coleto), indicando que grande parte da variação observada no crescimento das mudas está associada às doses de fertilizante aplicadas, sendo esse resultado atribuído à baixa variabilidade observada nos dados.

Figura 6 - Regressão para altura total (A), diâmetro do coleto, de mudas de *Jacaranda copaia* (B) obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta⁻¹) aos 180 dias após o transplantio.



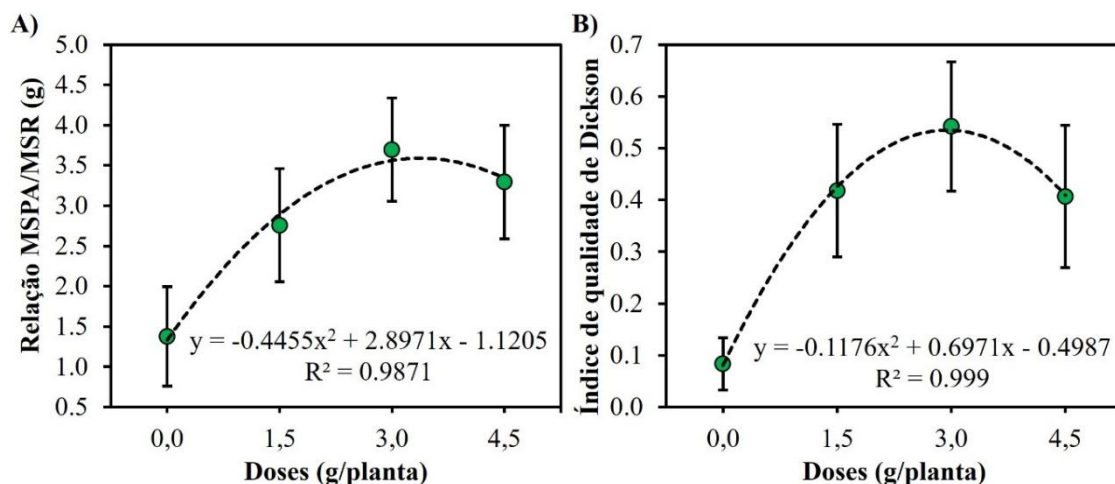
Para as variáveis MSPA, MSR e MST observou-se um aumento significativo com aumento das doses de Osmocote®. Todas as variáveis analisadas se ajustaram ao modelo de regressão polinomial. Como observado, na dose 3,0 g planta⁻¹, a MSPA, MSR e MST apresentaram os valores médios de $2,28 \pm 0,47$, $0,86 \pm 0,17$ e $3,14 \pm 0,54$ g planta⁻¹ com valores de $R^2 = 0,98$; $R^2 = 0,98$; $R^2 = 0,99$, respectivamente (Figuras 7A, 7B e 7C).

Figura 7 - Valores médios de massa seca da parte aérea - MSPA (A), massa seca de raiz – MSR (B) e massa seca total - MST (C), obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta⁻¹) em mudas de *Jacaranda copaia* aos 180 dias após o transplantio.



No que se refere à relação MSPA/MSR e ao IQD, observa-se que o valor mais elevado do IQD está associado à maior qualidade da muda, uma vez que indica uma melhor distribuição da massa seca na planta. A relação MSPA/MSR, apresentou um comportamento quadrático com valores de $3,69 \pm 0,64$ g na dose $3,0 \text{ mg planta}^{-1}$ de Osmocote® (Figura 8A). Para o IQD, foi observado que a dose de 3 g planta^{-1} proporcionou melhor resultado com valor médio de $0,54 \pm 0,12$ (Figura 8B). Para a relação MSPA/MSR e para o IQD, os modelos de regressão explicaram 99% da relação entre as variáveis e dose de Osmocote®.

Figura 8 - A) Regressão para relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz e B) índice de qualidade de Dickson - IQD, obtidos em função das doses de Osmocote® (0,0; 1,5; 3,0 e 4,5 g planta⁻¹) em mudas de *Jacaranda copaia* aos 180 dias após o transplantio.



3.4 Discussão

O resgate de plântulas de *Jacaranda copaia* apresentou taxa de sobrevivência de 84% após 30 dias de aclimação em viveiro, demonstrando que a técnica adotada foi viável para o aproveitamento da regeneração natural das mudas. O manejo adotado, com 80% de sombreamento e a irrigação realizada três vezes ao dia, foi o suficiente para garantir o estágio inicial das mudas, mesmo sem a testagem de diferentes tipos de sombreamento e/ou regimes hídricos.

Conforme evidenciado na Tabela 1, diversos estudos com o uso de fertilizante de liberação controlada (FLC), têm demonstrado diversos efeitos positivos para a produção de mudas florestais, promovendo incrementos significativos em altura total, diâmetro do coleto, biomassa e o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Tabela 1. Síntese de estudos (2020–2026) sobre a aplicação de fertilizantes de liberação controlada (FLC) na produção de mudas florestais, destacando espécies avaliadas, doses recomendadas e principais respostas morfológicas.

Autor(es)	Espécie	Região	Melhor dose de FLC	Principais resultados
Flores <i>et al.</i> (2025)	<i>Pinus taeda</i>	Sul do Brasil	3,0 kg Osmocote® + 1,0 kg Basacote® m ⁻³	Maior altura, diâmetro, massa seca e IQD
Oliveira <i>et al.</i> (2021)	<i>Parkia gigantocarpa</i>	Amazônia	4,1–8,2 g dm ⁻³	Aumento significativo em altura e diâmetro do coleto

Borges <i>et al.</i> (2025)	<i>Didymopanax morototoni</i>	Brasil	3,2–4,6 g dm ⁻³	Incrementos em altura, DC, área foliar e IQD
Mota <i>et al.</i> (2021)	<i>Agonandra brasiliensis</i>	Norte do Brasil	2,0 g L ⁻¹	Aumento de 85,9% na altura em relação à testemunha; melhor desempenho em recipiente de 2,2 L.
Jardim <i>et al.</i> (2024)	<i>Lecythis lurida</i>	Norte do Brasil	6,0 g L ⁻¹	Maior crescimento e melhor estado nutricional
Milhomem <i>et al.</i> (2025)	<i>Mezilaurus itauba</i>	Amazônia	0,40 mL L ⁻¹ (Stimulate®)	Incremento significativo em biomassa e IQD
Roubuste <i>et al.</i> (2025)	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	Sudeste	9,6 a 12 g L ⁻¹	Maior crescimento morfofisiológico e IQD em recipientes de 175 cm ³
Cabreira <i>et al.</i> (2021)	<i>Inga laurina</i>	Sul do Brasil	6–12 kg m ⁻³	Maior crescimento e biomassa no viveiro; desempenho adequado em campo com doses ≥ 6 kg m ⁻³

Jardim e Silva (2023b)	<i>Theobroma cacao</i>	Norte do Brasil	6,0 g L ⁻¹	Melhor equilíbrio morfológico e nutricional
Presente estudo	<i>Jacaranda copaia</i>	Pará	3,0 g planta ⁻¹	Incremento de 113,3% (H) e 129,9% (DC); IQD > 0,5

Com base na literatura apresentada, observa-se que a eficiência dos FLC está associada à liberação gradual e contínua dos nutrientes, favorecendo assim o crescimento equilibrado e melhor distribuição de biomassa. No presente estudo, a dose de 3,0 g planta⁻¹ de Osmocote® promoveu um melhor desempenho morfológico, indicando a existência de uma melhor dose de FLC para a *J. copaia*, com incrementos em altura total (113,3%) e diâmetro do coleto (129,9%), além de IQD superior a 0,5, indicando padrão adequado de qualidade. É importante relatar que doses superiores podem resultar em diferentes tipos de incrementos, ou seja, possível limitação fisiológica ou desequilíbrio nutricional em concentrações mais elevadas.

Ademais, ao avaliar a eficiência agrônômica, verifica-se que, embora a aplicação de 3,0 g planta⁻¹ tenha proporcionado maior crescimento, o incremento observado em comparação à dose de 1,5 g planta⁻¹ foi relativamente considerável para determinadas variáveis, sugerindo a ocorrência de retorno decrescente em função da adubação. Dessa forma, doses inferiores podem oferecer melhor relação custo-benefício em ambientes de viveiro.

Resultados semelhantes foram observados por Flores *et al.* (2025) com *Pinus taeda*, cujas mudas tratadas com fertilizante de liberação controlada apresentaram incrementos significativos em altura, diâmetro do coleto, massa seca e IQD, evidenciando maior vigor e rusticidade. Embora essa espécie pertence a outro grupo ecológico em relação a *J. copaia*, o estudo evidenciou a eficiência do FLC associada à liberação gradual dos nutrientes para as mudas em questão.

Resultados similares foram observados por Oliveira *et al.* (2021), ao aplicarem doses de 4,1 a 8,2 g dm⁻³ de Osmocote® em mudas de *Parkia gigantocarpa*, verificando aumentos significativos em altura e diâmetro do coleto. Isso reforça a eficácia dos fertilizantes de liberação controlada na promoção do crescimento vegetal. A relação H/DC, são importantes para determinar a rusticidade e qualidade de mudas em campo (MARINHO *et al.*, 2022), sendo fundamental para o sucesso das espécies em campo.

Além dos resultados positivos de HT e DC, foi observado que a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca da raiz (MSR) conforme analisado, influenciou na média do IQD, sendo superior a 0,5. Esse índice é amplamente utilizado como parâmetro integrador da qualidade de mudas (SMIDERLE *et al.*, 2021), indicando robustez e uma adequação na distribuição de biomassa nas mudas de *J. copaia*.

Podemos observar que a interação entre fertilizantes e agentes biológicos também vem sendo discutida na literatura, se tornando uma estratégia promissora. Segundo Andriguetto *et al.* (2024), a associação com *Trichoderma harzianum*, pode maximizar o desempenho fisiológico de mudas florestais, o que demonstra o potencial da interação entre bioestimulantes e FLC na produção de mudas de alta qualidade. Para Junior *et al.* (2024) observaram um incremento significativo com a *Trichoderma asperellum* em mudas de *Enterolobium contortisiliquum*, demonstrando o efeito entre os bioinsumos e fertilizantes minerais.

Resultados similares foram observados por Milhomem *et al.* (2025), que constataram que a aplicação de biorreguladores como Stimulate® proporcionou aumento significativo em todas as variáveis de crescimento analisadas em mudas de *Mezilaurus itauba*, tais como altura, diâmetro, biomassa e IQD, ao longo de um período de 180 dias. Estudos como o de Jardim e Silva (2023b) mostram que em mudas de *Theobroma cacao*, ocorreu um melhor desempenho com a adição de FLC em doses intermediárias, enquanto que em maiores dosagem, reduziram a qualidade, evidenciando em uma resposta não linear ao fertilizante.

Podemos observar que, para ocorrer uma eficiência com o uso do FLC, precisamos correlacionar as características físico-químicas. Logo, a retenção hídrica, aeração e disponibilidade de nutrientes influenciam diretamente a eficiência fisiológica das plântulas (MARCELO-BAZÁN *et al.* 2025). O uso de substratos eficientes não apenas melhora o desempenho das mudas, mas também contribui com estratégias de conservação e uso sustentável, reduzindo a dependência de insumos adicionais. Resultados semelhantes foram observados por Roubuste *et al.* (2025), onde demonstraram que o volume do recipiente potencializou a resposta do FLC para as mudas de *Lonchocarpus muehlbergianus*, indicando que fatores estruturais como esse, no processo de produção dessas mudas podem ser considerados mediante aos resultados do IQD, diâmetro e massa seca das mudas.

A TCR evidenciou dois picos distintos de crescimento, aos 60 e 150 dias, o que podem ser devidas às interações de múltiplos fatores abióticos, bióticos e antropogênicos, os quais devem ser considerados para futuras pesquisas (MARTINS *et al.* 2022). De acordo com Cunha *et al.* (2024), o uso de FLC permite a liberação contínua de nutrientes, o que pode explicar as flutuações de crescimento em diferentes fases fenológicas das plantas.

Estudos recentes demonstram que, para diferentes espécies, a dose ideal de FLC varia, dependendo das características do substrato e da exigência nutricional de cada planta. Em *Inga laurina*, por exemplo, Cabreira *et al.* (2021) observaram que doses excessivas não resultam em incrementos proporcionais de crescimento, podendo inclusive causar efeitos negativos. Assim, a dose de 3,0 g planta⁻¹ identificada neste trabalho parece representar um ponto ótimo de eficiência para *J. copaia*. Observa-se que resultados semelhantes foram encontrados por Holler *et al.* (2025), ao avaliarem o crescimento de espécies florestais em áreas de preservação permanente com FLC, destacando a importância dessa tecnologia para ambientes de restauração.

Além dos benefícios proporcionados pelos FLC, a seleção adequada do substrato é fundamental para assegurar a qualidade das mudas. De acordo com Roblero *et al.* (2025), a utilização de compostagem orgânica ou vermicomposto em combinação com vermiculita resulta em melhorias significativas no desenvolvimento e na qualidade de mudas de *Caesalpinia platyloba*, evidenciadas por maiores valores de IQD e melhor lignificação. Esses achados indicam que a adoção de práticas integradas, que englobem tanto aspectos nutricionais quanto as propriedades físicas do substrato, é indispensável para a produção de mudas florestais vigorosas e adequadas a programas de restauração ecológica.

3.5 Conclusão

O uso do fertilizante de liberação controlada Osmocote® proporcionou elevada taxa de sobrevivência das mudas de *Jacaranda copaia* (84%), além de promover incrementos significativos nos atributos morfológicos e fisiológicos ao longo de 180 dias após o transplante. A dose de 3 g planta⁻¹ resultou no melhor desempenho morfofisiológico das mudas, sendo indicada como a mais eficiente sob o ponto de vista técnico para a produção de mudas de maior qualidade. Por outro lado, a dose de 1,5 g planta⁻¹ apresentou maior eficiência econômica relativa, constituindo uma alternativa viável para sistemas de produção que visam a redução de custos, com menor investimento em insumos.

Dessa forma, a definição da dose ideal deve considerar o objetivo do sistema produtivo, podendo priorizar a máxima qualidade das mudas ou a otimização dos custos de produção.

3.6 Referências

ANDRIGUETTO, K. V.; WAIMER, G. C.; SANTOS, B. M. S.; TURCHETTO, F.; GRIEBELER, A. M.; ARAUJO, M. M. The influence of fertilizer type and *Trichoderma harzianum* inoculation on the growth and physiology of young plants of *Cordia americana*. *Floresta*, v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/ufv54i1.89616>.

BORGES, M. de M. R.; CASTRO, P. H. C. de; SANTOS, M. D. C.; SILVA FILHO, D. P.; GAMA, M. A. P.; ARAÚJO, D. G. de. Crescimento de mudas de *Didymopanax morototoni* em função de doses de fertilizante de liberação controlada. **Revista Árvore**, [S. l.], v. 49, n. 1, 2025. DOI: 10.53661/1806-9088202549263900.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; RESENDE, A. S.; CABREIRA, W. V.; SOUSA, T. J. S. Controlled-release fertilizer and container volume to produce *Inga laurina* seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 1, p. e20190057, 2021. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0057>.

CRAWLEY, M. J. **The R book**. John Wiley & Sons, 2012.

CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; ALMEIDA, R. S.; DINIZ, P. C.; MELO, L. A.; VENTURIN, N. Initial growing and management in *Eucalyptus* clones plantations using controlled release fertilizers. **Floresta**, [S. l.], v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.87153>.

CHAGAS-JUNIOR, A.F.; DIAS, P. C.; MARTINS, A. L. L.; OLIVEIRA, R. S.; CHAGAS, L. F. B. *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf & Nirenberg) as growth promoter in *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. e64187, 2024. <https://doi.org/10.5902/1980509864187>.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, no. 1, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

FERNANDES, J. Morfologia de *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don (Bignoniaceae): uma espécie medicinal em Alta Floresta, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 37, 2021. https://doi.org/10.18677/encibio_2021c32.

FLORES, A. V.; BORCIONI, E.; TACHEVISKI, I. M. Qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. em resposta à adubação com fertilizantes de liberação controlada. **Advances in Forestry Science**, v. 12, n. 1, 2025. <https://doi.org/10.34062/2a3tze40>.

FREITAS, T. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; SOUZA, L. S.; DIAS, C. N.; QUINTELA, M. P. Qualidades de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. conduzidas sob diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 19-42, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509837445>.

GOMES, D. R. da S.; RABBANI, E. R. K.; OLIVEIRA, R. A. Propriedades Mecânicas das Madeiras utilizadas na construção: Uma Revisão Sistemática de Literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, p. 1596–1619, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1596-1619>.

GUARDIA, M. C.; KANASHIRO, S.; TAMAKI, V.; NIEVOLA, C. C.; SUZUKI, R. M.; COSTA, J. P.; BAPTISTA, W.; SHIDOMI, Y.; CACHENCO, M. V.; SANTOS JUNIOR, N. A. D. Crescimento de *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman após resgate e realocação em unidade de conservação urbana. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 290-309, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509841654>.

HOLLER, K. R.; ROSSA, U. B.; FARIAS, D. R.; SOBREIRA, F. M. Development of forest species in the Atlantic Forest using controlled-release fertilizer in a permanent preservation area. **Floresta**, v. 55, n. 1, p. e93407, 2025. <https://doi.org/10.5380/rf.v55i1.93407>.

JARDIM, I. N.; MATOS, M. N.; ROSÁRIO, M. P.; HAMADA, M. O. S. Osmocote® proporciona melhores mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. **Scientia Plena**, v. 19, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.090203>.

JARDIM, I. N.; SILVA, H. L. Efeitos benéficos do fertilizante de liberação controlada no crescimento e nutrição de mudas de cacau. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 12, p. 30988–31007, 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.12-116>.

LOHMANN, L.G.; KAEHLER, M.; FONSECA, L.H.M; FARIAS-SINGER, R.; FIRETTI, F.; SILVA-CASTRO, M.M.; GOMES, B.M.; FRAZÃO, A.; FRANCISCO, J.N.C.; THODE, V.A.; ZUNTINI, A.R.; MEDEIROS, M.C.M.P.; KATAOKA, E.Y.; BEYER, M. *Bignoniaceae* in Flora do Brasil 2020. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB112305>>. Acesso em: 15 out. 2025.

MARCELO-BAZÁN, F. E.; MANTILLA-CHÁVEZ, W.; PAREDES-PAJARES, K. P.; CHÁVEZ-CERCADO, D. M.; BASELLO-VILLANUEVA, J. R.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P. Identification of the optimal substrate for sexual propagation of *Cinchona officinalis* L.: implications for conservation and sustainable use. **Forest Science**, p. 1-26, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44391-025-00018-8>.

MARINHO, D. S.; FERREIRA, E.; ROOS, E.; COELHO, J. P. S.; LUNA, E. J. T. P.; MOREIRA, A. G. Qualidade e desenvolvimento inicial de mudas de itaúba, em tubetes de diferentes volumes. **Acta Biologica Brasiliensia**, v. 5, n. 2, p. 32-48, 2022. <https://doi.org/10.18554/acbiobras.v5i2.7223>.

MARTINS, S. V.; BRAZ, J. P.; VILLA, P. M.; ALVES, W. V. L.; VALENTE, M. L.; KRUSCHEWSKY, G. C.; DIAS, A. A.; NABETA, F. H. Avaliação de nucleários como técnica de restauração florestal em Mariana, MG, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022. <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002154>.

MILHOMEM, C. A.; DIONISIO, L. F. S.; SOUZA, A. G.; SMIDERLE, O. J. Bioregulators Stimulate® and Acadian® as growth stimulants for *Mezilaurus itauba* TAUB. EX MEZ seedlings. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 46, n. 3, p. 861–874, 2025. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n3p861>.

MIRANDA-NETO, A. M.; MARTINS, S. V.; SILVA, K. A. Plantlet rescue in a soil seed bank to produce forest species seedlings. **Ecological Engineering**, v. 132, p. 94–101, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.002>.

MORAES, B. C.; SODRÉ, G. R. C.; CARDOSO, A. C. D.; DA SILVA JÚNIOR, A. R. Crescimento Urbano e Suas Implicações para o Tempo e Clima da Região Metropolitana de Belém do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 2042–2057, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf>.

MOTA, E. R.; SMIDERLE, O. J.; DIONISIO, L. F. S.; SOUZA, A. G.; MONTENEGRO, R. A.; SCHWARTZ, G. Seedling quality of *Agonandra brasiliensis* in response to different Osmocote® doses and recipient volumes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e55010111903, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11903>

OLIVEIRA, V. P.; MENDES, R. S.; MARTINS, W. B. R.; SANTOS, E. A.; ARAÚJO, D. G.; GAMA, M. A. P. Desenvolvimento e qualidade de mudas de *Parkia gigantocarpa* Ducke

(Fabaceae) em função de fertilizante de liberação controlada. **Scientia Plena**, v. 17, n. 9, 2021. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.090201>.

RONDON-NETO, R. M. Formação de mudas de tauari (*Couratari stellata* A.C. Sm.) com plântulas da regeneração natural. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 11, n. 3, p. 117–123, 2023. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v11n3.16307>.

ROUBUSTE, R. R.; SALDANHA, C. W.; MISSIO, E. L.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; MALDANER, J. Controlled release fertilizer and container volume improve the seedling morphophysiology of *Lonchocarpus muehlbergianus* HASSL. **Floresta**, v. 55, n. 1, p. e95139, 2025. <https://doi.org/10.5380/rf.v55i1.95139>.

SANTOS, G. C.; SILVA, L. C. A.; OLIVEIRA, P. A.; VIEIRA, E. R. D.; PEREIRA, I. M.; OLIVEIRA, M. L. R.; TITON, M.; FARNEZI, M. M. de M. Estratégias para resgate de plantas de *Xylopia sericea* A.St.-Hil. provenientes da regeneração natural. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1-6, 2021. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i4a7028>.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; MENEGATTI, R. D.; DIAS, T. J.; MONTENEGRO, R. A. Shading and slow release fertiliser affect early growth in seedlings of Pau-marfim. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 1, p. e20200023, 2021. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0023>.

VELÁZQUEZ-ROBLERO, R.E.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ I.G.; PRIETO-RUIZ J.Á.; FÉLIX-HERRÁN J.A. Crecimiento de plantas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson en vivero bajo diferentes sustratos orgánicos. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 12, n. 1, 2025. <https://doi.org/10.19136/era.a12n1.3519>.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N. J.; SVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. New York: Springer. 2009. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam a eficiência do uso de fertilizantes de liberação controlada, especialmente o Osmocote®, na produção de mudas de espécies florestais nativas da Amazônia. As duas espécies estudadas, *Vouacapoua americana* e *Jacaranda copaia*, responderam positivamente à aplicação do fertilizante, apresentando melhor crescimento, maior acúmulo de biomassa e índices de qualidade mais elevados nas doses intermediárias testadas.

Para *V. americana*, a dose de aproximadamente 7,5 g planta⁻¹ proporcionou o melhor desempenho morfofisiológico, enquanto valores próximos a 7,7 g planta⁻¹ resultaram em maiores índices de qualidade de mudas. Para *J. copaia*, a dose de 3 g planta⁻¹ resultou em maior desenvolvimento e vigor das mudas, enquanto a dose de 1,5 g planta⁻¹ apresentou melhor eficiência econômica, podendo ser considerada uma alternativa viável para sistemas de produção com foco na redução de custos. Esses resultados confirmam que o manejo nutricional com fertilizantes de liberação controlada permite ajustar a disponibilidade de nutrientes de acordo com as demandas fisiológicas das plantas, favorecendo o crescimento equilibrado e reduzindo perdas por lixiviação.

Além disso, a utilização de plântulas provenientes da regeneração natural de *J. copaia* mostrou-se uma alternativa viável para a produção de mudas de qualidade, contribuindo para a conservação do material genético e para a redução dos custos e do tempo de produção nos viveiros.

De modo geral, o uso do Osmocote® demonstrou ser uma estratégia eficiente e sustentável para o manejo nutricional em viveiros florestais. Estudos futuros devem buscar o aperfeiçoamento das dosagens para diferentes espécies amazônicas, bem como a integração dessa técnica com práticas de manejo orgânico e sistemas agroflorestais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIGUETTO, K.V.; WAIMER, G.C.; SANTOS, B.M.S. dos.; TURCHETTO, F.; GRIEBELER, A.M.; ARAUJO, M. M. The influence of fertilizer type and *Trichoderma harzianum* inoculation on the growth and physiology of young plants of *Cordia americana*. **Floresta**, v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.89616>
- BARROS, L. C.; SOBRINHO, S. P.; LUZ, P. B. Crescimento de mudas de *Peltophorum dubium* em função do volume de substrato e adubação. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 21, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24021/raac.v21i1.8169>
- BORGES, M. de M. R.; CASTRO, P. H. C. de; SANTOS, M. D. C.; SILVA FILHO, D. P. da; GAMA, M. A. P.; ARAÚJO, D. G. de. Crescimento de mudas de *Didymopanax morototoni* em função de doses de fertilizante de liberação controlada. **Revista Árvore**, [S. l.], v. 49, n. 1, 2025. DOI: 10.53661/1806-9088202549263900.
- CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; ALMEIDA, R. S.; DINIZ, P. C.; MELO, L. A.; VENTURIN, N. Initial growing and management in *Eucalyptus* clones plantations using controlled release fertilizers. **Floresta**, [S. l.], v. 54, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54i1.87153>
- CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; MELO, L. A.; MIRANDA, E. N.; FERNANDES, T. J.; VENTURIN, N. Efficiency of Slow Release Fertilizers in The Production of *Eucalyptus Grandis* Seedlings. **Floresta e Ambiente**, 28(4), e20210059, 2021. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0059>
- DIAS, C. R. G.; EMÍLIO, M.; SERROTE, C. M. L. Evaluation of the growth of seeds of *Azadirachta indica* A. Juss on different substrates. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 21, n. 2, p. 168–175, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712122022168>.
- ERHARDT, D. S.; ROSSA, U. B.; FAVRETTO, E.; JÚNIOR, D. R.; VISCHETTI, C.; BRUNETTI, G.; BERNARDI, A. Substrate Fertilization Technologies for the Production of Juçara Seedlings for Ornamental Purposes. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [S. l.], v. 20, 2025. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v20.96478>
- JARDIM, I. N.; MATOS, M. N.; ROSÁRIO, M. P.; HAMADA, M. O. S. Osmocote® proporciona melhores mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. **Scientia Plena**, v. 19, n. 9, 2023. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.090203>.
- JARDIM, I.N.; OLIVEIRA, J.C.; HAMADA, M.O.S.; OLIVEIRA, I.A. Osmocote® promotes positive responses in the growth and nutrition of *Lecythis lurida* seedlings (*Lecythidaceae*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 23, no. 4, pp. 565–574, 2024. <https://doi.org/10.5965/223811712342024565>.
- MAESTRI, M. P.; RUSCHEL, A. R.; PORRO, R.; AQUINO, M. G. C.; MILÉO, R. C. Community Forest Management of the Virola Jatobá Sustainable Development Project: Scenarios for the exploration of *Vouacapoua americana* Aublet. **Biodiversidade Brasileira**, vol. 11, no. 1, pp. 1–17, 2021. Available from: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/1494/1220>
- PAULA, J.C.B.; JÚNIOR, W.A.R.; SHIMIZU, G.D.; MEN, G.B; FARIA, R.T. Fertilizante de liberação controlada no crescimento inicial da orquídea *Phalaenopsis* sp. **Revista Cultura**

Agronômica, vol. 29, no. 2, pp. 289–299, 2020. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n2p289-299>

RODRIGUES, J. I. M.; MILHOMEM, C. A.; SANTIADO, W. R.; SANTOS JUNIOR, R. F.; MARTINS, W. B. R.; OLIVEIRA, F. A. Organic and organomineral substrates are the most used for the production of seedlings of Amazonian forest species. **Nativa**, v. 13, n. 2, p. 178–188, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31413/nat.v13i2.18959>

RODRIGUES, N. S.; SOBRINHO, S. P.; LUZ, P. B. Crescimento de Mudas de *Adenantha pavonina* (L.) em Diferentes Doses de Hidrorretentor e Fertilizante de Liberação Lenta no Substrato. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 52–59, 2024. DOI: 10.17921/1415-6938.2024v28n1p52-59.

ROTOWA, O.J.; MALEK, S.; BANACH, J.; PACH, M. Effect of innovative peat-free organic growing media and fertilizer on nutrient allocation in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings. **New Forests** 56, 17, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10079-1>

SOUZA, A.G.; SMIDERLE, O.J.; MONTENEGRO, R.A.; MORIYAMA, T.K.; DIAS, T.J. Controlled-release fertiliser and substrates on seedling growth and quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima. **Journal of Agricultural Studies**, vol. 8, no. 3, pp. 70–80, 2020. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16363>

SPANNER, G.C.; HERRERA, R.C.; ALVAREZ, W.P.; LIMA, L.O.; LIMA, A.J.N. Potential distribution of *Vouacapoua americana* Aubl. in the Brazilian Amazon and the impact of the change in land use. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 14, no. 2, pp. 1094–1115. 2021. (In Portuguese). <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1094-1115>

WORLD FLORA ONLINE. *Vouacapoua* Aubl. World Flora Online. 2025. Disponível em: <<http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040438>>. Acesso em: 15 jun. 2025.