

ARTIGO ORIGINAL

Crescimento de *Aniba rosaeodora* Ducke em resposta à calagem e adubação em Latossolo Amarelo da Amazônia Central

Growth of *Aniba rosaeodora* Ducke in response to liming and fertilization in a Yellow Latosol of Central Amazonia

Rafaelle Batista Aoki^{1*} , João Cleber Cavalcante Ferreira² , Danielle Monteiro de Oliveira¹ , Ivone Ketura Silva Cabral¹ , Newton Paulo de Souza Falcão¹ 

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, AM, Brasil

²Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Fonte de financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

*Autor correspondente:
rafaelle.aoki@gmail.com

Recebido: 17 março 2025.

Aceito: 25 março 2026.

Editor: Alexandre de Vicente Ferraz.

Como citar: Aoki, R. B., Ferreira, J. C. C., Oliveira, D. M., Cabral, I. K. S., & Falcão, N. P. S. (2026). Crescimento de *Aniba rosaeodora* Ducke em resposta à calagem e adubação em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Scientia Forestalis*, 54, e4144. <https://doi.org/10.18671/scifor.v54.03>

R E S U M O

O estabelecimento de novas áreas plantadas com pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) pode contribuir para a perpetuação da espécie na Amazônia. Dessa forma, um experimento de campo foi realizado para avaliar o crescimento de *Aniba rosaeodora* Ducke em resposta à calagem e adubação em Latossolo Amarelo da Amazônia. O estudo foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições e cinco tratamentos variando a adubação orgânica e mineral. Foram avaliadas as variáveis de crescimento, concentrações de macro e micronutrientes nas folhas e os atributos químicos do solo. Foi observado que a calagem, isolada ou combinada com adubação mineral e/ou com esterco de galinha, promoveu aumentos significativos no pH do solo, refletindo na redução dos teores de alumínio trocável e no aumento da saturação por bases, além de elevar a disponibilidade de nutrientes. O uso de esterco de galinha também resultou em ganhos expressivos no número de folhas de *Aniba rosaeodora*, bem como no incremento da concentração de nutrientes no tecido foliar.

Palavras-chave: Nutrição mineral de plantas; Silvicultura; NPK; Esterco de galinha.

A B S T R A C T

The establishment of new plantations of rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) can contribute to the perpetuation of the species in the Amazon area. Therefore, a field experiment was conducted to evaluate the growth of *Aniba rosaeodora* Ducke in response to liming and fertilization of Yellow Latosol of the Amazon. The study was conducted in a randomized block design with four replicates and five treatments varying in organic and mineral fertilization. Growth variables, macro- and micro-nutrient concentrations in the leaves, and soil chemical attributes were evaluated. It was observed that liming, either alone or combined with mineral fertilization and/or poultry manure, significantly increased soil pH, reflected in a reduction of exchangeable aluminum levels and an increase in base saturation, as well as enhancing total nutrient availability. The use of poultry manures also resulted in significant gains in the number of leaves of *Aniba rosaeodora* and increased nutrient concentrations in the leaf tissue.

Keywords: Plant mineral nutrition; Silviculture; NPK; Poultry manure.

1. INTRODUÇÃO

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) é uma espécie nativa da floresta amazônica, de grande relevância econômica devido ao óleo essencial extraído de suas folhas, galhos, caule e raízes, amplamente utilizado nas indústrias cosméticas e de perfumaria fina (Fidelis et al., 2012). No entanto, décadas de exploração predatória resultaram em um declínio acentuado das populações naturais, intensificando a erosão genética e comprometendo a regeneração natural da espécie, levando à sua inclusão na lista vermelha de espécies ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (UICN) (Blind et al., 2018; International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2021).

Diante desse cenário, plantios comerciais de pau-rosa, estabelecidos a partir de material genético proveniente de populações naturais, emergiram como uma estratégia viável para suprir a demanda internacional pelo óleo essencial da espécie, ao mesmo tempo em que visam reduzir a pressão sobre os ecossistemas naturais (Krainovic et al., 2017a). Além de contribuir para a conservação da espécie, esses plantios comerciais têm potencial de gerar emprego e renda para comunidades locais na Amazônia, representando uma solução integrada que alia benefícios econômicos e ambientais (Fidelis et al., 2012; Krainovic et al., 2017b).



Embora exista um crescente interesse por parte de empresários, agricultores e comunidades tradicionais na produção sustentável do óleo de pau-rosa, o manejo adequado da adubação e da nutrição da espécie ainda representa um desafio significativo. Isso se deve, em grande parte, às características dos solos onde os plantios são estabelecidos, predominantemente Argissolos e Latossolos distróficos, que apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez e altos teores de alumínio (Al) tóxico (Santos et al., 2018; Moreira & Fageria, 2009). Essas características edáficas limitam severamente o crescimento das plantas, uma vez que o estado nutricional influencia diretamente todos os processos fisiológicos e metabólicos. Isso resulta em alterações significativas nas taxas de desenvolvimento, na intensidade do crescimento e até mesmo em características morfológicas específicas (Marschner, 2012). Tais limitações destacam a necessidade de estratégias de manejo adequadas, visando otimizar a produtividade e garantir o estabelecimento sustentável dos plantios de pau-rosa.

A calagem e a adubação são técnicas fundamentais para melhorar a fertilidade desses solos, fornecendo nutrientes, corrigindo a acidez, neutralizando o alumínio tóxico e disponibilizando cálcio e magnésio para as plantas, fatores essenciais para o desenvolvimento de culturas florestais (Cardoso et al., 2015; Court et al., 2018). Estudos com outras espécies amazônicas de elevado valor econômico, como o mogno (*Swietenia macrophylla* King) e o angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke), demonstram respostas positivas às práticas de calagem (Souza et al., 2010; Seabra et al., 2017).

Considerando a necessidade de aprimorar o nível tecnológico do cultivo de pau-rosa, torna-se fundamental investigar a influência de práticas de manejo na produtividade da cultura. Este estudo parte da hipótese de que o crescimento inicial do pau-rosa é positivamente influenciado pela calagem e adubação. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é investigar se a calagem e adubação influenciam o crescimento inicial do pau-rosa em um Latossolo amarelo distrófico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e condições de experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do INPA, localizada no município de Manaus, Amazonas (02°37' 12" S, 060°02' 27" W). O clima da região é do tipo Af (Köppen) tropical chuvoso (úmido) com precipitação média anual de 2.286 mm, umidade relativa do ar de 80% com variação de temperatura entre 23,3 °C a 31,4 °C e média anual de 26,7 °C (Alvares et al., 2013).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico. Antes da instalação do experimento, na profundidade de 0 – 0,20 m, o solo apresentava os seguintes atributos químicos: pH (H₂O) = 4,70; Al³⁺ = 0,70 cmolc dm³; H+Al = 4,40 cmolc dm³; Ca²⁺ = 0,20 cmolc dm³; Mg²⁺ = 0,10 cmolc dm³; K⁺ = 31,30 mg dm³; P = 1,40 mg dm³; Fe = 256,0 mg dm³; Zn = 0,30 mg dm³; Mn = 2,20 mg dm³; M.O. = 10,80 g kg⁻¹; SB = 0,30 cmolc dm³; t = 1,0 cmolc dm³; T = 4,70 cmolc dm³; V = 6,80% e m = 67,10% (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999).

Foi utilizado esterco de galinha proveniente da granja de frango Ovos São Pedro, situada no km 3 da Rodovia BR 174 no município de Manaus, AM Brasil. A análise química do esterco apresentava as seguintes propriedades: pH (H₂O) = 9,79; N = 11,75 g kg⁻¹; P = 35,45 g kg⁻¹; K = 27,45 g kg⁻¹; Ca = 191,8 g kg⁻¹; Mg = 12,95 g kg⁻¹; Zn = 488 g kg⁻¹; Mn = 429,30 g kg⁻¹.

No plantio, foram utilizadas mudas de *Aniba roseodora* com seis meses de idade, apresentando altura média de 18,64 cm, diâmetro do coleto 3,48 mm e em média 7 folhas por indivíduo. As mudas foram

adquiridas no viveiro de mudas do Sítio Perfume da Mata, localizado no município de Manaus-AM, produzidas a partir de sementes coletadas de matrizes na propriedade. A seleção das mudas foi baseada em critérios de estado fitossanitário, vigor e uniformidade de tamanho.

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: T1 = controle (sem calcário e adubação); T2 = 400,0 g cova⁻¹ de calcário dolomítico (CaCO₃ 30% e MgCO₃ 25%), PRNT 91%; T3 = 400,0 g cova⁻¹ de calcário dolomítico (CaCO₃ 30% e MgCO₃ 25%) PRNT 91% e 300,0 g cova⁻¹ do formulado N-P-K (4% N - 14% P₂O₅ - 8% K₂O); T4 = 400,0 g cova⁻¹ de calcário dolomítico (CaCO₃ 30% e MgCO₃ 25%) PRNT 91% e 3,0 kg cova⁻¹ de esterco de galinha; T5 = 400,0 g cova⁻¹ de calcário dolomítico (CaCO₃ 30% e MgCO₃ 25%) PRNT 91%, 3,0 kg cova⁻¹ esterco de galinha e 300,0 g cova⁻¹ do formulado N-P-K (4% N - 14% P₂O₅ - 8% K₂O). Dez meses após o plantio, uma adubação de cobertura foi realizada nas parcelas que receberam adubação mineral (T3 e T5), utilizando 22 g de ureia ((NH₂)₂CO), 16 g de cloreto de potássio (K₂O) e 10 g de FTE BR (12) (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2,1% de Mn e 0,1% de Mo). Cada parcela continha seis plantas, com quatro plantas úteis, totalizando 30 plantas por repetição e 120 plantas no total.

Foram preparadas covas nas dimensões de 0,30 x 0,30 x 0,30 m com espaçamento de 3,00 m entre linhas e 1,50 m entre plantas. As covas destinadas aos tratamentos com calcário e esterco de galinha foram preparadas com dois meses de antecedência do plantio.

2.2. Variáveis avaliadas

Após os 19 meses de exposição das plantas aos tratamentos, foram avaliados os atributos químicos do solo o estado nutricional das plantas e o crescimento das plantas aos 24 meses. Para a avaliação dos atributos químicos do solo, foram coletadas três amostras simples por parcela experimental, a 0,20 m de distância da planta e na profundidade de 0 - 0,20 m. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2,0 mm para posterior determinação do pH (H₂O), H⁺ + Al³⁺ ((C₂H₃O₂)₂ 0,5 mol L⁻¹), N total (Kjeldahl), Ca²⁺, Mg²⁺ e Al trocável (extrator KCl 1,0 mol L⁻¹), P, K, Fe, Zn e Mn (extrator Mehlich 1) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999).

No mesmo período da coleta de amostras de solo, o material vegetal foi coletado para a determinação das concentrações de nutrientes foliares. As amostras foram lavadas em água corrente, secas em estufa a 65 °C por 72 h e foram moídas em moinho de facas para serem submetidas à digestão com duplo ácido (H₂O₂ + H₂SO₄). A espectrometria de absorção atômica foi usada para determinar os macros e micronutrientes (K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, Fe, Zn e Mn). As concentrações de P foram determinadas por espectrofotometria, enquanto o N total foi determinado por meio do método de Kjeldahl (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999).

O crescimento das plantas foi avaliado por meio da mensuração da altura, utilizando uma fita métrica, posicionada rente ao solo até última inserção foliar. O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital STARRET® (0 - 150 mm) (precisão de 0,02 mm) a 2,00 cm do nível do solo. O número de folhas totais foi determinado por contagem manual.

O crescimento absoluto em altura e crescimento absoluto em diâmetro (CA) (CA = Vf variável final - V0 variável inicial) e ganho foliar (GF) (GF = NFF número de folhas final - NFO número de folhas inicial), foram calculados conforme metodologia de Bugbee (1996) e Davanzo et al. (2002).

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilks), e à análise de variância (ANOVA). Quando o teste F indicou diferenças significativas, o teste de Tukey (5%) foi aplicado para comparação de médias. Todas as amostras foram processadas no software estatístico R v. 4.0.2.

3. RESULTADOS

3.1. Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo foram significativamente influenciados ($p < 0,05$) pelos tratamentos. Os resultados mostram que a adição de calcário combinado com a adubação mineral e, ou com esterco de galinha, aumentou os valores de pH em relação ao controle (T1) (Figura 1A), com destaque para o tratamento com a aplicação de calcário e adubação com esterco de galinha (T4), que apresentou o maior valor médio (pH= 6,75).

Consequentemente, os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) (Figura 1B) reduziram nos tratamentos com calcário isolado e combinado com adubação mineral e, ou esterco de galinha. Verifica-se também que nos tratamentos com aplicação de calcário e de adubação orgânica (T4) e (T5), houve redução dos valores, que se aproximaram de zero.

Foram observados acréscimos significativos de bases presentes no solo (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) nos tratamentos com diferentes tipos de fertilização em comparação com o controle. Sendo assim, a (% V) saturação por base aumentou (T1 - 6,31) para valores mais adequados (T3 - 44,92% e T4 - 62,20%) (Figura 1C). Consequentemente, a % de saturação por Al^{3+} (m) foi reduzida significativamente, alcançando valores “muito baixos”, que variaram de 6,81% a 0,81% nos tratamentos T3 e T5, respectivamente (Figura 1D).

3.2. Teores de macro e micronutrientes no solo

A aplicação dos tratamentos resultou em um aumento significativo nos teores de macro e micronutrientes no solo, exceto para N e Fe

(Figura 2). A disponibilidade de P foi maior nos tratamentos que receberam adubações orgânica e mineral, isoladamente ou combinadas, associadas à aplicação de calcário (T3, T4 e T5) (Figura 2B). Já para K, os teores médios foram mais elevados nos tratamentos que incluíram a aplicação de cloreto de potássio via adubação mineral (T3- 41,21 e T5 -39,79 $cmol_c kg^{-1}$), evidenciando a contribuição dessa fonte na elevação dos teores de k disponíveis (Figura 2C).

A calagem influenciou positivamente no aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo em comparação ao controle (Figura 2D). Esses resultados indicam que a correção da acidez do solo melhorou a disponibilidade desses nutrientes. Apesar das variações nos tratamentos, os teores de Fe foram elevados em todas as condições avaliadas, possivelmente refletindo a mineralogia do solo e a alta capacidade de fornecimento desse micronutriente. Além disso, a adubação influenciou diretamente os teores de Zn e Mn. Nos tratamentos adubados, os teores de Zn foram elevados, o que confirma a eficiência da fertilização (Figura 2H). Da mesma forma, os teores de Mn foram superiores nos tratamentos que receberam calcário associados às adubações orgânica e mineral ou apenas orgânica (Figura 2F).

3.3. Concentrações de macro e micronutrientes nos tecidos foliares

Foi constatado que a adubação por meio dos tratamentos proporcionou aumentos significativos na concentração de macro e micronutrientes nos tecidos foliares (Figura 3), com exceção do N e Fe, que apesar de não apresentarem distinção entre tratamentos, são nutrientes encontrados em grandes concentrações nos tecidos foliares entre os macro e micronutrientes, respectivamente.

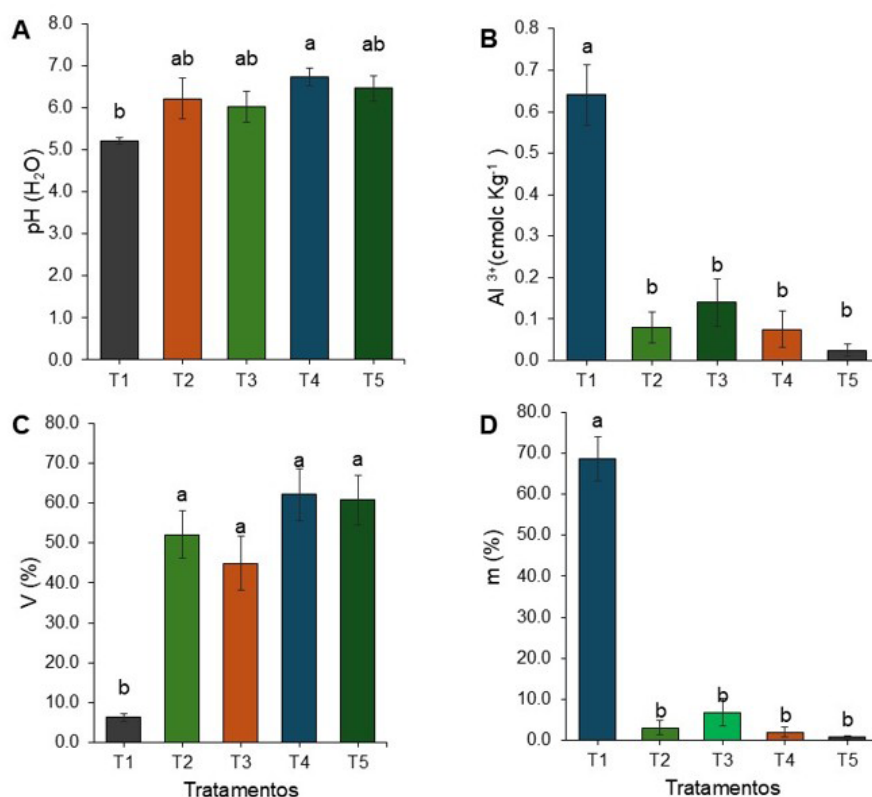


Figura 1. Médias dos valores de pH (H₂O) (A), acidez trocável (Al³⁺) (B), saturação base (%V) (C) e saturação por Al (%m) (D) em função da adubação (T1 = controle; T2 = calagem; T3 = calagem e formulado NPK 4-14-8; T4 = calagem e esterco de galinha; T5 = calagem, esterco de galinha e formulado NPK 4-14-8).

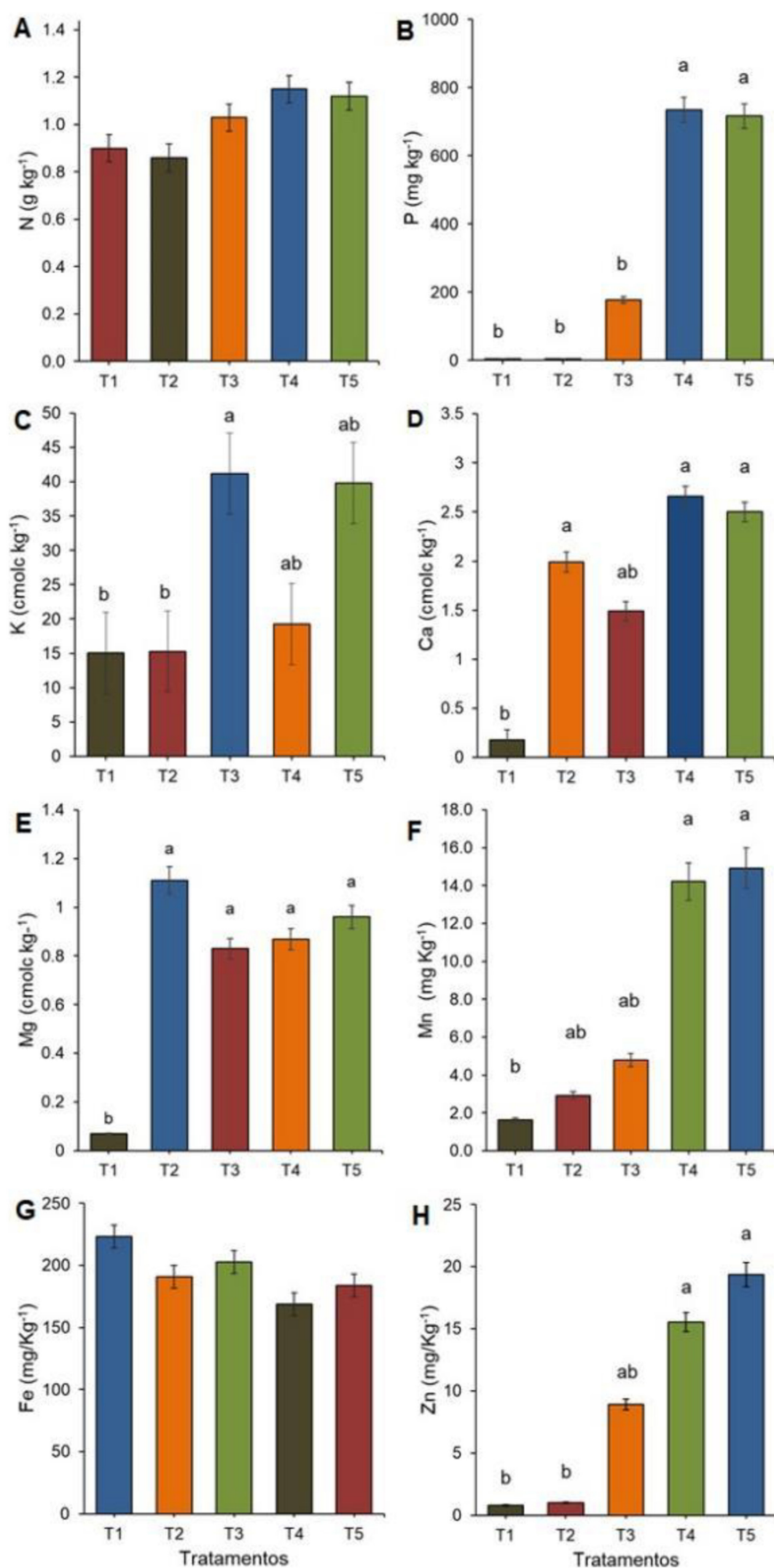


Figura 2. Teores médios de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E), Mn (F), Fe (G), Zn (H) no solo em função da adubação (T1 = controle; T2 = calagem; T3 = calagem e formulado NPK 4-14-8; T4 = calagem e esterco de galinha; T5 = calagem, esterco de galinha e formulado NPK 4-14-8). Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

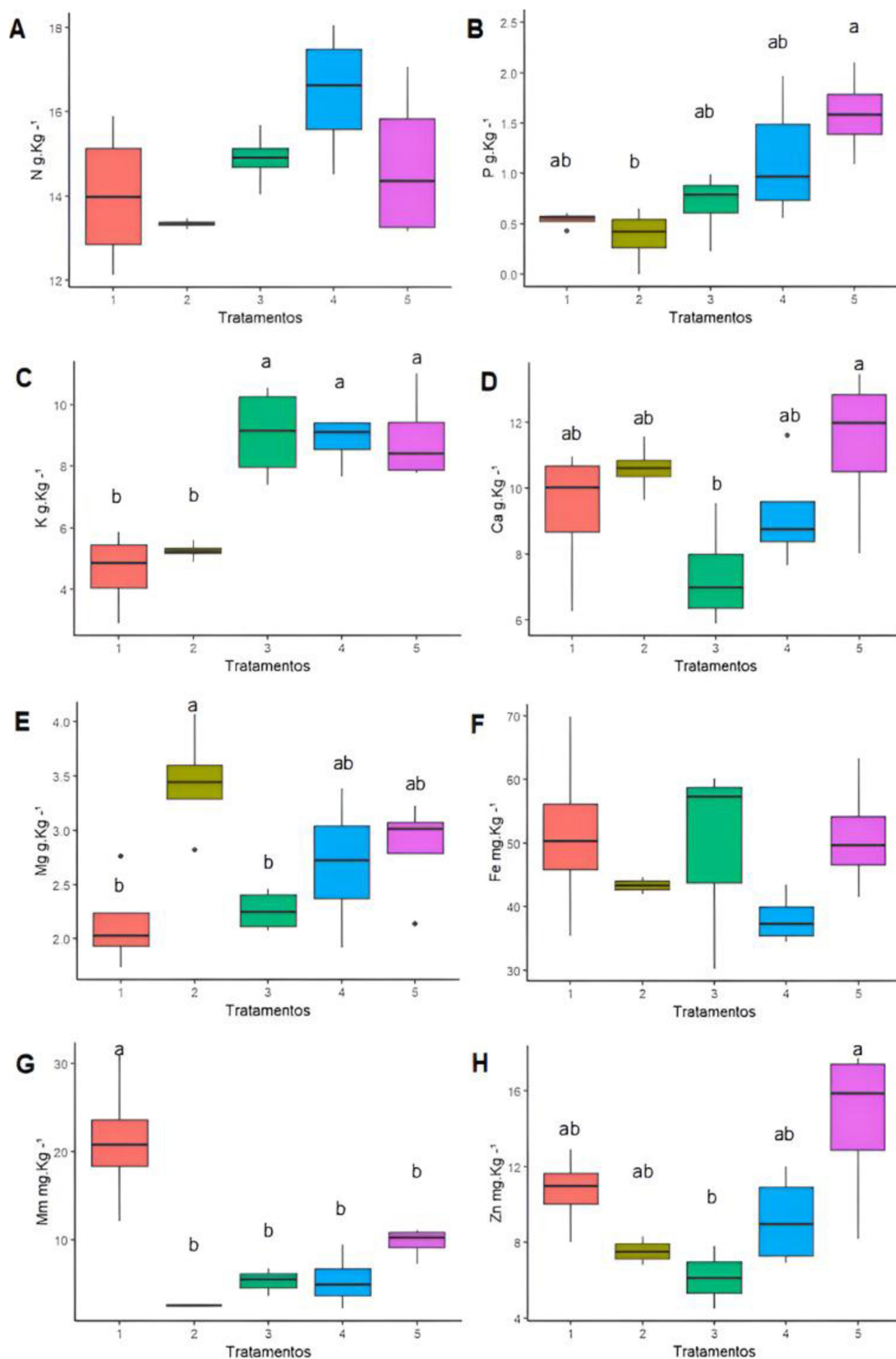


Figura 3. Médias das concentrações de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E), Fe (F), Mn (G), Zn (H) nas folhas em função da adubação (T1 = controle; T2 = calagem; T3 = calagem e formulado NPK 4-14-8; T4 = calagem e esterco de galinha; T5 = calagem, esterco de galinha e formulado NPK 4-14-8). Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

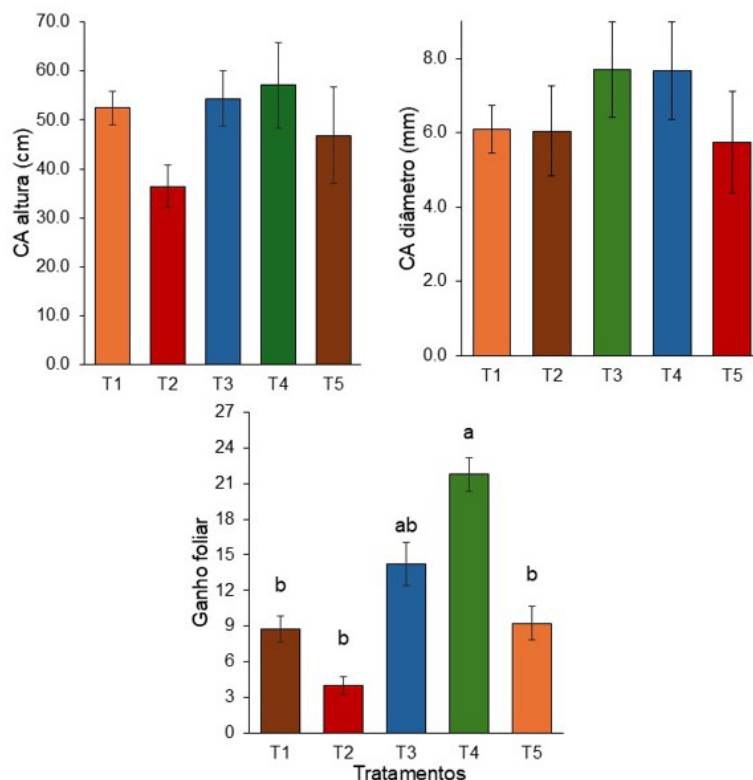


Figura 4. Valores médios e desvio-padrão do Crescimento absoluto (CA) em altura e diâmetro de *Aniba roseodora* submetidas à adubação (T1= Controle; T2= Calagem; T3= calagem + formulado NPK 4-14-8; T4= calagem + esterco de galinha e T5= calagem + esterco de galinha + formulado NPK 4-14-8). Letras diferentes indicam valores significativos entre tratamentos de fertilização (Teste de Tukey $p < 0,05$).

Dentre os tratamentos estudados, a combinação - calcário, esterco e NPK (T5) exibiu as maiores concentrações foliares de P, Ca e Zn nas plantas. As concentrações de K foram consideravelmente influenciadas pelos tratamentos, sendo observado os maiores níveis nos tratamentos que receberam calcário junto com adubação, seja mineral ou com esterco de galinha (T3, T4, T5), apresentando valores que variaram de 8,83 a 9,07 g kg⁻¹ (Figura 3C).

A calagem isolada (T2) foi o tratamento que mais aumentou a concentração de Mg nas folhas, enquanto os outros tratamentos, que combinam calagem com diferentes tipos de adubação, não mostraram diferenças significativas entre si, mas tiveram uma absorção de Mg melhor que o controle. As concentrações de Mn foliar foram mais elevadas no tratamento controle (T1), atingindo 21,13 mg kg⁻¹. Nos demais tratamentos onde ocorreu aumento do pH, foi observada uma acentuada redução nos teores de Mn (Figura 3G).

3.4. Variáveis de crescimento e ganho foliar

A calagem e a adubação não influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no crescimento absoluto em altura e diâmetro das plantas ao longo de 24 meses de avaliação. O crescimento absoluto em altura variou de 36,46 cm (T2) a 57,17 cm (T4), enquanto os valores do crescimento absoluto em diâmetro variaram de 5,75 mm (T5) a 7,70 mm (T3). Por outro lado, os tratamentos com calagem e esterco de galinha (T4) e adubação mineral (T3) proporcionaram aumento significativo em ganho foliar (Figura 4).

As plantas submetidas apenas à calagem (T2) apresentaram menor ganho foliar, enquanto as do tratamento T4 (calagem e esterco de galinha) apresentaram maior ganho foliar (Figura 4).

4. DISCUSSÃO

4.1. Atributos químicos do solo

O manejo da fertilidade do solo é fator fundamental para o sucesso de plantios florestais. A aplicação de calcário dolomítico visando a correção da acidez do solo, aumento dos teores de cálcio e magnésio e diminuição dos altos teores de alumínio tóxico para as plantas cultivadas, é uma das atividades mais importantes para o manejo da fertilidade do solo, proporcionando a máxima eficiência agrônômica dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumentando a produtividade das culturas agrícolas e florestais. Os tratamentos com calagem e esterco de galinha (T4) e calagem com adubação mineral (T3), destacaram-se proporcionando um maior ganho foliar. No entanto, os tratamentos mostraram pouca influência no crescimento em altura e diâmetro nas plantas de pau-rosa.

Em solos ácidos, a baixa concentração de bases trocáveis, como Ca, Mg e K e alta concentração de H e Al, ligadas às cargas negativas do solo, afetam negativamente o desenvolvimento do sistema radicular, além de interferir na disponibilidade de nutrientes (Lima et al., 2022). O calcário no solo reage aumentando a retenção de cátions básicos (Ca²⁺ e Mg²⁺) por meio da sua dissociação, liberando também ânions HCO³⁻ e OH⁻ na solução do solo, que reagem com cátions ácidos (H⁺, Al³⁺, Mn²⁺) formando H₂O, resultando na neutralização da atividade do íon Al³⁺ tóxico (solúvel) para a forma de óxidos e/ou hidróxidos insolúveis (não tóxica) (Caires et al., 2015; Prezotti & Guarçoni, 2013). Portanto, nesse estudo a elevação do pH nos tratamentos em decorrência da aplicação de calcário, os valores superiores a 5,5 o teor de Al³⁺ se aproximaram ao valor de zero (Figura 1), além de aumentar a disponibilidade de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo.

Embora os teores de N no solo não tenham apresentado diferença estatisticamente significativas, vale ressaltar a importância desse elemento para as plantas, já que é conhecido como um dos mais limitantes para o seu crescimento. No solo os teores de N são baixos, podendo variar desde traços a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ na camada superficial (Dechen & Nachtigall, 2007). Os teores encontrados no estudo são classificados, de modo geral, como “média” fertilidade e a indiferença dos teores entre os tratamentos podem estar relacionada a alta susceptibilidade a perdas por lixiviação e volatilização desse nutriente (Prezotti & Guarçoni, 2013).

A aplicação de calcário associada a adubação orgânica e/ ou mineral aumentou significativamente a disponibilidade de P no solo, alcançando teores acima do considerado como muito alto. Os resultados de P mencionados, podem ser justificados pelo uso do esterco de galinha, que no geral, são bons fornecedores de P na forma disponível, assim como as formas minerais. No entanto, vale ressaltar também que o extrator utilizado para determinar os teores de P, o Mehlich⁻¹, por se tratar de uma solução ácida, pode dissolver formas de P de residual de fertilizantes aplicados no substrato da cova e apresentar teores além do que realmente estão disponíveis para plantas (Prezotti & Guarçoni, 2013).

A adubação mineral (T3 e T5) proporcionou os maiores teores de K disponíveis no solo, interpretados como “média” fertilidade (Moreira & Fageria 2009) em solos no Estado do Amazonas. Em relação aos micronutrientes, o destaque foi para a adubação com esterco de galinha (T4), na qual favoreceu maiores teores de Zn e Mn. Os teores de Fe em todos os tratamentos foram superiores do considerado como “alto” (Alvarez & Ribeiro, 1999). Em solos tropicais os teores de Fe são geralmente mais elevados, além de ser dentre os metais o nutriente encontrado em maior quantidade nos solos, podendo variar de 10 a 100 mg Kg^{-1} (Abreu et al., 2007).

4.2. Concentração dos nutrientes nos tecidos foliares

O N foi o nutriente mais abundante nas folhas, com concentrações entre $13,34$ a $16,45 \text{ g kg}^{-1}$, valores esperados, pois o N é o elemento mais requerido pela maioria das plantas (Sorreano et al., 2012). O nitrogênio é essencial para diversas funções nas plantas, como a formação de clorofila e sua participação direta na fotossíntese, além de estar relacionado a estruturas de proteínas, aminoácidos, enzimas e ácidos nucleicos (Bang et al., 2021). As concentrações de N neste estudo, são semelhantes às observadas por Ferreira et al. (2024), que encontrou de $13,84$ a $17,02 \text{ g kg}^{-1}$ em condições de campo. Estudos com plantios comerciais mais antigos na Amazônia Central relataram valores similares, entre $15,03$ a $16,98 \text{ g kg}^{-1}$ (Desconci, 2006; Krainovic et al., 2017b).

A aplicação de calcário associada adubação favoreceu a absorção de P e K pelas plantas. O fornecimento de fósforo tem mostrado respostas positivas no estado nutricional de espécies florestais, tanto em condições de campo quanto em casa de vegetação (Carvalho, 2020; Seabra et al., 2017). Valores semelhantes de P foram encontrados por Valência et al. (2010). Entretanto, esse autor relata que o tratamento sem adubação fosfatada resultou no maior crescimento em altura, com concentração de $0,81 \text{ g kg}^{-1}$, sugerindo que *A. roseaodora* possui baixo requerimento de P para o crescimento, adaptando-se bem a solos pobres em P, como os da Amazônia.

As concentrações de K neste estudo são consistentes com outros estudos que utilizaram fertilização na mesma espécie (Valência et al., 2010; Ferreira et al., 2024). Em contrapartida, nos tratamentos com apenas calagem e no controle, as concentrações muito baixas confirmam a necessidade da aplicação de fertilizantes potássicos para melhorar o estado nutricional da planta.

As concentrações de Ca e Mg nas folhas nesse estudo (Figura 3) são superiores às relatadas em outros estudos com *A. roseaodora* em diferentes idades (Valência et al., 2010; Krainovic et al., 2017b), nas quais as concentrações de Ca diminuíram conforme o envelhecimento das plantas. Os níveis de Ca foram considerados satisfatórios, considerando que concentrações adequadas para o crescimento normal das plantas, de modo geral, variam entre 10 e 50 g kg^{-1} (Dechen & Nachtigall, 2007) e para Mg, as concentrações adequadas variam entre 2 e 4 g kg^{-1} (Malavolta, 2006). Plantas adaptadas a solos ácidos, como *A. roseaodora*, tendem a apresentar altas concentrações desses nutrientes, o que sugere um mecanismo de adaptação para evitar estresse (Marschner, 2012), contribuindo para a produção de massa seca e o aumento da eficiência fotossintética, favorecendo o desenvolvimento foliar de *A. roseaodora* (Valência et al., 2010).

Nos tratamentos que elevaram o valor do pH, houve uma redução acentuada nos teores de Mn. O pH é um dos principais fatores que influenciam a disponibilidade de Mn, apresentando uma correlação negativa entre o aumento do pH e a concentração de Mn nas plantas (Socha & Guerinet, 2014). Além disso, a presença elevada de nutrientes como Fe, Ca, Mg e P no solo pode dificultar a absorção de Mn (Kirkby & Römheld, 2007; Marschner, 2012). Esses fatores ajudam a explicar os baixos teores de Mn nas folhas.

Embora tenha ocorrido aumento das concentrações de Zn no tecido foliar, as concentrações permaneceram abaixo do considerado adequado para as plantas, variando entre 20 e 50 mg kg^{-1} (Dechen, 2018). Contudo, durante o experimento, não foram identificados sintomas de deficiência de ambos os nutrientes nas plantas, embora seja importante destacar a escassez de estudos relacionados à nutrição adequada de *A. roseaodora*, limitando uma avaliação mais precisa.

4.3. Variáveis de crescimento

Ao investigar a influência da calagem e adubação no crescimento inicial do pau-rosa, foi averiguado que as plantas foram pouco impactadas pelos tratamentos, apesar da melhoria das propriedades químicas do solo. Esse comportamento pode estar associado a estratégias que espécies florestais da Amazônia desenvolvem para garantir a sua sobrevivência em solos altamente ácidos e pobres em nutrientes.

Essas espécies expressam alta eficiência na ciclagem de nutrientes por meio da decomposição de matéria orgânica e possuem sistema radicular profundo, permitindo acesso a nutrientes em camadas mais profundas do solo. Esses fatores sugerem a possível adaptação da espécie a solos ácidos e de baixa fertilidade.

O crescimento das plantas em altura e diâmetro submetidas à calagem e adubação, conforme observado neste estudo, se assemelha a estudos que evidenciam o baixo teor de macronutrientes como P e K, não limitar o crescimento das plantas (Valência et al., 2010), sugerindo alta eficiência na utilização desses elementos. Sendo assim, não havendo diferença no crescimento de mudas de pau-rosa, nos primeiros anos após o plantio em campo, sob diferentes combinações de adubação (Ferreira et al., 2024).

A baixa resposta das plantas à adubação também pode estar relacionada ao curto período de avaliação em campo, considerando o grupo ecológico ao qual pertencem. Espécies clímax, como o pau-rosa, geralmente apresentam crescimento lento e baixa capacidade fotossintética, com exigências nutricionais reduzidas, o que limita sua resposta à melhoria da fertilidade do solo, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento (Macedo, 2008).

Por outro lado, os resultados indicam que tanto a adubação orgânica (T4) quanto o mineral (T3) quando combinadas com o calcário, tiveram efeito positivo no ganho foliar de *Aniba roseaodora*, com destaque para o esterco de galinha. O esterco de galinha, além de

fornecer macronutrientes e micronutrientes para suprir as demandas nutricionais da planta, também melhora as propriedades físicas e biológicas do solo. Da mesma forma, a adubação mineral aplicada na cova de plantio e em cobertura, disponibiliza de forma eficiente macro e micronutrientes.

A calagem (T2) isoladamente, não foi suficiente para promover um crescimento significativo, reforçando a necessidade de associá-la a outras fontes de nutrientes para melhorar o desenvolvimento foliar. Para os tratamentos sem adubação (T1), apenas com calagem (T2) e com a combinação de calagem, adubação mineral e orgânica (T5), o ganho foliar foi menor (Figura 4). Esse resultado nos tratamentos T1 e T2 pode ser explicado pela deficiência de nutrientes, uma vez que o solo no tratamento T1 apresenta baixa fertilidade natural, e o T2 recebeu apenas Ca e Mg via calagem, considerando que as plantas necessitam dos elementos essenciais para o bom crescimento e desenvolvimento (Malavolta, 2006). Dessa forma, na ausência ou em quantidades insuficientes no solo, é necessário suplementar com adubação, seja ela mineral ou orgânica.

Portanto, compreender as exigências nutricionais, bem como as adaptações das espécies florestais é fundamental para o manejo sustentável de plantios florestais. O cultivo do pau-rosa em sistema de plantio, fora do ambiente de floresta, apresenta desafios específicos, exigindo manejo adequado do solo que considere as adaptações naturais da espécie.

5. CONCLUSÃO

A calagem e adubação mineral e/ou orgânica foram eficazes na correção da acidez do solo e na melhoria da fertilidade, especialmente em relação ao aumento da disponibilidade de nutrientes como Ca, Mg, P e K.

A calagem, associada à adubação orgânica (esterco de galinha) ou mineral, proporcionou maior ganho foliar, embora não tenha promovido um crescimento significativo em altura e diâmetro das plantas.

A adubação com esterco de galinha demonstrou um impacto positivo na nutrição e crescimento foliar da espécie. Assim, o manejo adequado da fertilidade do solo, aliado ao entendimento das características ecológicas da espécie, é essencial para otimizar o cultivo do pau-rosa fora do ambiente natural de floresta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, C. A., Lopes, A. S., & Santos, G. C. G. (2007). Micronutrientes. In R. F. Novais, V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti & J. C. Lima (Eds.), *Fertilidade do solo* (pp. 646-724). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Alvarez, V. H., & Ribeiro, A. C. (1999). Interpretação dos resultados das análises de solos. In A. C. Ribeiro, P. T. G. Guimarães & V. H. Alvarez (Eds.), *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação* (pp. 25-32). Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., & Schjoerring, J. K. (2021). The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *The New Phytologist*, 229(5), 2446-2469. <https://doi.org/10.1111/nph.17074>.

Blind, M. R., Costa, K. C. P. D., Silva, C. E. M. D., Sampaio, P. D. T. B., & Gonçalves, J. F. D. C. (2018). Fotossíntese de espécies de Aniba em resposta à exposição a ambientes contrastantes de luz. *Rodriguésia*, 69(2), 397-407. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869211>.

Bugbee, G. (1996). Growth, analyses and yield components. In F. B. Salisbury (Ed.), *Units, symbols and terminology for plant physiology* (pp. 115-119). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195094459.003.0013>.

Caires, E. F., Haliski, A., Bini, A. R., & Scharr, D. A. (2015). Calagem superficial e fertilização nitrogenada para produção de grãos em plantio direto no Brasil. *European Journal of Agronomy*, 66, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008>.

Cardoso, S. A. A., Santos, J. Z. L., Tucci, C. A. F., Farias, E. P., & de Melo Moura, R. P. (2015). Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35(81), 1-10. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.81.667>.

Carvalho, A. D. O. (2020). *Sobrevivência, crescimento e características fotossintéticas de espécies florestais em resposta à fertilização fosfatada* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

Court, M., van der Heijden, G., Didiera, S., Nysa, C., Richter, P., Saint-André, L., Pousseb, N., & Legout, A. (2018). Long-term effects of forest liming on mineral soil, organic layer and foliage chemistry: insights from multiple beech experimental sites in Northern France. *Forest Ecology and Management*, 409, 872-889. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.007>.

Davanso, V. M., Souza, L. A., Medri, M. E., Pimenta, A., & Bianchini, E. (2002). Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia ovellanae* Lor. ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45(3), 375-384. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132002000300016>.

Dechen, A. R., & Nachtigall, G. R. (2007). *Elementos requeridos à nutrição de plantas: fertilidade do solo* (pp. 91-128). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Dechen, A. R. (2018). Micronutrientes. In M. S. Fernandes (Ed.), *Nutrição mineral de plantas* (2. ed., pp. 491-547). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Desconci, D. (2006). *Biomassa e alocação de nutrientes em plantios comerciais de Pau-rosa (Aniba roseaodora Ducke), em duas regiões da Amazônia central* (Dissertação de mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (1999). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

Ferreira, J. C. C., Santos, A. B. P., Ribeiro, R. P., Ribeiro, H. M., Aoki, R. B., Oliveira, D. M., & Falcão, N. P. S. (2024). Biochar and chicken manure improve soil chemical properties and nutritional status of rosewood seedlings grown in clay soil. *Bosque*, 45(2), 295-306. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002024000200295>.

Fidelis, C. H., Augusto, F., Sampaio, P. T., Krainovic, P. M., & Barata, L. E. (2012). Chemical characterization of rosewood (*Aniba roseaodora Ducke*) leaf essential oil by comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with quadrupole mass spectrometry. *The Journal of Essential Oil Research*, 24(3), 245-251. <https://doi.org/10.1080/10412905.2012.676770>.

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources – IUCN. (2021). *A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN. Versão 2021-3*. Gland: IUCN. Recuperado em 23 de fevereiro de 2022, de <https://www.iucnredlist.org>

Kirkby, E. A., & Römhild, V. (2007). Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, 118(2), 1-24.

Krainovic, P., Almeida, D., & Sampaio, P. (2017a). Novas equações alométricas para apoiar o manejo sustentável de plantações de pau-rosa (*Aniba roseaodora Ducke*) na Amazônia Central. *Florestas*, 8(9), 327. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201902203>.

- Krainovic, P. M., Almeida, D. R. A. D., Desconci, D., Veiga-Júnior, V. F. D., & Sampaio, P. D. T. B. (2017b). Manejo sequencial de plantações comerciais de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* ducke) na Amazônia central: buscando modelos sustentáveis para produção de óleo essencial. *Florestas*, 8(12), 438. <https://doi.org/10.3390/f8120438>.
- Lima, A. J. D., Santos, E. M. H. D., Natale, W., & Rozane, D. E. (2022). Liming, fertilization and nutrition of star fruit trees. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(6), e937. <https://doi.org/10.1590/0100-29452022937>.
- Macedo, S. T. D. (2008). *Crescimento inicial de espécies pioneiras e clímax em resposta a aplicação de calcário e formulações de NPK em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do Rio Uruçu, Coari-AM* (Dissertação de mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (Vol. 1). São Paulo: Agronômica Ceres.
- Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., 643 p.). London: Elsevier.
- Moreira, A., & Fageria, N. K. (2009). Soil chemical attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(17–18), 2912–2925. <https://doi.org/10.1080/00103620903175371>.
- Prezotti, L. C., & Guarçoni, A. (2013). *Guia de interpretação de análise de solo e foliar*. Vitória: Incaper.
- Santos, H. G. D., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5. ed., 356 p.). Brasília: Embrapa Solos.
- Seabra, C. E. B. C., Osiecka, A., Andersen, P. C., Tucci, C. A. F., Pereira, B. F. F., & Minogue, P. J. (2017). Influência das limitações de fósforo no crescimento, partição de nutrientes e fisiologia de mudas de balsa (*Ochroma piramidale*). *Journal of Tropical Forest Science*, 29(4), 530–540. <https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.530540>.
- Socha, A. L., & Guerinot, M. L. (2014). Mn-uevering manganese: the role of transporter gene family members in manganese uptake and mobilization in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5, 106. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00106>.
- Sorreano, M. C. M., Rodrigues, R. R., & Boaretto, A. E. (2012). *Guia de nutrição para espécies florestais nativas*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Souza, C. A. S. D., Tucci, C. A. F., Silva, J. F. D., & Ribeiro, W. O. (2010). Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). *Acta Amazonica*, 40(3), 515–522. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000300010>.
- Valência, W. H., Sampaio, P. T. B., & Souza, L. A. G. (2010). Crescimento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad. *Acta Amazonica*, 40(4), 693–698. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000400008>.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

RBA: escrita – primeira redação, curadoria de dados; JCCF: curadoria de dados, escrita – revisão e edição; DMO: metodologia, supervisão; IKSC: escrita – revisão e edição; NPSF: obtenção de financiamento, metodologia, supervisão.