

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Erik Brian dos Santos

**PRÉ-CONDICIONAMENTO NUTRICIONAL E RESPOSTA AO
ENRAIZAMENTO DE CLONES COMERCIAIS DE *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis***

São João Evangelista – MG

2026

ERIK BRIAN DOS SANTOS

**PRÉ-CONDICIONAMENTO NUTRICIONAL E RESPOSTA AO
ENRAIZAMENTO DE CLONES COMERCIAIS DE *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto
Federal de Minas Gerais - *Campus* São João
Evangelista para obtenção do grau de bacharel
em Agronomia.

Orientador: Prof Dr. Bruno Oliveira Lafetá
Coorientadora: Prof^a Dr^a Natália Risso
Fonseca

São João Evangelista – MG

2026

S237p Santos, Erik Brian dos.
Pré-condicionamento nutricional e resposta ao enraizamento de clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*/ Erik Brian dos Santos – 2026.
18f.: il.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.
Coorientadora: Dr^a Natália Risso Fonseca.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2026.

1. Miniestquia. 2. Solução nutritiva. 3. Rizogênese. 4. Viveiro clonal. I. Santos, Erik Brian dos. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.973

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Erik Brian dos Santos

**PRÉ-CONDICIONAMENTO NUTRICIONAL E RESPOSTA AO
ENRAIZAMENTO DE CLONES COMERCIAIS DE *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto
Federal de Minas Gerais - *Campus* São João
Evangelista para obtenção do grau de bacharel
em Agronomia.

Aprovado em: 12 / 06 / 2026 pela banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

BRUNO OLIVEIRA LAFETA

Data: 20/06/2026 16:34:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Bruno Oliveira Lafetá – IFMG/SJE (Orientador)



Documento assinado digitalmente

NATALIA RISSO FONSECA

Data: 17/06/2026 19:48:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Natalia Risso Fonseca– IFMG/SJE (Coorientadora)



Documento assinado digitalmente

IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN

Data: 18/06/2026 18:03:21-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan– IFMG/SJE

Dedico este trabalho aos meus pais, que, com muito trabalho e dedicação na roça, tornaram possível que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, saúde e perseverança para chegar até esta etapa da minha vida.

À minha família, tanto aos que estão presentes quanto àqueles que já partiram, mas deixaram um legado de trabalho, dedicação e valores que permanecem vivos. Sou grato pelo esforço e sacrifício das gerações que me antecederam, pois foi sobre essa base que hoje tenho a oportunidade de alcançar esta conquista.

Em especial, aos meus pais, Edirlei e Edilene, que, com amor, esforço e dedicação incansáveis, tornaram possível a realização dos meus sonhos. Sou profundamente grato por nunca terem medido esforços para me proporcionar oportunidades e uma vida melhor, sempre me apoiando, incentivando e acreditando em meu potencial ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e pessoal. À minha noiva, Thaiany, que esteve ao meu lado desde o início dessa caminhada, oferecendo apoio, compreensão e incentivo em todos os momentos. Sem dúvidas, foi uma das minhas maiores incentivadoras. Compartilhamos o sonho de estudar e crescer juntos desde a infância, e hoje temos a alegria de ver esse sonho se concretizar, tornando-nos engenheiros.

À minha coorientadora, Natália, que, além de ter sido minha professora, foi também colega de turma em algumas disciplinas e me apresentou à área da Fitopatologia, despertando meu interesse por essa ciência. Agradeço pela amizade, pelos ensinamentos, pela orientação e pela confiança depositada em meu trabalho ao longo desta trajetória. Ao meu orientador, Bruno, que sempre me incentivou e apoiou durante esta jornada acadêmica. Sem dúvida, foi uma das pessoas que despertaram meu interesse pela pesquisa científica e pela estatística, contribuindo significativamente para minha formação acadêmica e profissional. A todos os professores do curso, pelos ensinamentos, dedicação e valiosa contribuição para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colaboradores do setor de Pesquisa e Desenvolvimento da CENIBRA, pela oportunidade de realizar este projeto e pelos conhecimentos compartilhados durante o estágio.

Aos amigos e colegas que fizeram parte desta jornada, em especial aos integrantes do grupo “Tudo Nosso”, da República Barro Preguento e da República BatCaverna, pelos momentos de amizade, apoio e companheirismo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A produção de mudas da alta qualidade é um requisito fundamental para o sucesso de plantações clonais de eucalipto. Embora a nutrição mineral reconhecida como um importante fator que influencia o desenvolvimento radicular, há pouca informação disponível sobre a imersão rápida de miniestacas de eucalipto em soluções nutritivas imediatamente antes do estaqueamento. Este estudo avaliou o efeito desse pré-condicionamento sobre o enraizamento de quatro clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*, sob condições de viveiro comercial. O experimento foi conduzido separadamente para cada clone, com sete tratamentos (controle e seis combinações de três formulações comerciais em duas concentrações: 40 e 80 mL 100 L⁻¹ de água). Não foram detectadas diferenças do percentual de mudas enraizadas entre os tratamentos ($p > 0,05$). Entretanto, observaram-se tendências numéricas de maior enraizamento em propágulos tratados, especialmente com solução rica em fósforo e macro e micronutrientes, atingindo até 72%. A variação entre clones foi mais expressiva do que entre tratamentos, evidenciando forte efeito genotípico na rizogênese. Conclui-se que, nas condições avaliadas, o pré-condicionamento nutricional por imersão rápida não altera estatisticamente o enraizamento, constituindo evidência inédita para sistemas operacionais de miniestaquia. Apesar disso, a simplicidade e viabilidade operacional da técnica indicam potencial aplicação prática e justificam novas investigações em condições experimentais mais sensíveis, com diferentes clones, tempos de imersão e variáveis de qualidade radicular.

Palavras-chave: Miniestaquia. Solução nutritiva. Rizogênese. Viveiro clonal.

ABSTRACT

The production of high-quality seedlings is essential for the successful establishment of clonal eucalyptus plantations. Although mineral nutrition is widely recognized as an important factor influencing root development, little information is available on the rapid immersion of mini-cuttings in nutrient solutions immediately before planting. This study evaluated the effect of this nutritional preconditioning on the rooting performance of four commercial *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* clones under commercial nursery conditions. The experiment was conducted independently for each clone using seven treatments, consisting of a control and six combinations of three commercial nutrient formulations applied at two concentrations (40 and 80 mL per 100 L of water). No significant differences in rooting percentage were detected among treatments ($p > 0.05$). Nevertheless, treated propagules consistently showed numerically higher rooting percentages, particularly when exposed to a nutrient solution containing phosphorus together with macro- and micronutrients, reaching up to 72% rooting. Variation among clones was substantially greater than variation among treatments, highlighting the strong influence of genotype on adventitious root formation. Under the conditions evaluated, rapid nutritional preconditioning by immersion did not significantly affect rooting percentage, providing the first evidence regarding this practice under operational mini-cutting propagation systems. However, the simplicity and operational feasibility of the technique suggest potential practical value and warrant further investigation under more sensitive experimental conditions, including additional clones, different immersion periods, and comprehensive assessments of root system quality.

Key-words: Minicutting. Nutrient solution. Rhizogenesis. Clonal nursery.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 METODOLOGIA.....	9
2.1 Área de estudo e material vegetal.....	10
2.2 Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos.....	11
2.3 Avaliação do enraizamento e análise estatística.....	12
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4 CONCLUSÕES.....	16
REFERÊNCIAS.....	17

1 INTRODUÇÃO

As plantações florestais desempenham papel estratégico na bioeconomia global ao fornecerem matéria-prima renovável para os setores de celulose e papel, bioenergia, construção civil e diversos produtos de base biológica. Entre as espécies cultivadas, o gênero *Eucalyptus* destaca-se pelo rápido crescimento, elevada produtividade e ampla adaptação a diferentes condições ambientais, características que sustentam sua importância econômica em regiões tropicais e subtropicais.

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de eucalipto, com mais de oito milhões de hectares de plantações comerciais (IBÁ, 2025). Esse desempenho resulta de avanços no melhoramento genético, nas práticas silviculturais e nas tecnologias de viveiro, que permitiram elevar a produtividade e a eficiência dos sistemas de produção (Stape *et al.*, 2010). Nesse contexto, a propagação clonal tornou-se um dos principais pilares do setor ao viabilizar a multiplicação em larga escala de materiais geneticamente superiores.

A propagação clonal permitiu a multiplicação de genótipos selecionados quanto ao crescimento, à qualidade da madeira e à resistência a estresses bióticos e abióticos (Alfenas *et al.*, 2004; Griebeler *et al.*, 2024). Entre as técnicas disponíveis, a miniestaquia consolidou-se como o principal método empregado em viveiros comerciais por combinar elevada taxa de multiplicação, eficiência operacional e produção de mudas uniformes. Além disso, propágulos oriundos de minijardins clonais preservam características juvenis que favorecem a formação de raízes adventícias (de Felice *et al.*, 2024).

Todavia, mesmo com os avanços obtidos na propagação clonal, o enraizamento permanece sendo uma das etapas mais críticas da produção de mudas, influenciando diretamente sua qualidade, a produtividade do viveiro e o estabelecimento das plantas no campo (Alfenas *et al.*, 2004; Roth *et al.*, 2024). A formação de raízes adventícias é influenciada por uma complexa rede de processos fisiológicos envolvendo regulação hormonal, alocação de carboidratos, diferenciação celular e estímulos ambientais (Taiz *et al.*, 2022). A eficiência desses processos depende não apenas das condições ambientais, mas também das características genéticas e fisiológicas dos propágulos. Diferenças consideráveis na capacidade de enraizamento são frequentemente observadas entre clones de eucalipto, demonstrando a forte influência do genótipo sobre a competência rizogênica (Alfenas *et al.*, 2004; Griebeler *et al.*, 2024).

Diversos estudos demonstram efeitos positivos da fertilização sobre o crescimento das mudas e o desenvolvimento radicular, principalmente por meio da adubação do substrato, fertirrigação e aplicações foliares (Novais *et al.*, 2007). Em contrapartida, o pré-condicionamento de miniestacas por imersão rápida em soluções nutritivas imediatamente antes do estaqueamento permanece pouco explorado, apesar de representar uma prática simples, de baixo custo e facilmente incorporada às rotinas operacionais dos viveiros. Essa estratégia difere dos programas convencionais de fertilização por fornecer nutrientes em um momento imediatamente anterior à indução do enraizamento, fase caracterizada por intensa reorganização fisiológica dos propágulos.

Embora os efeitos da nutrição mineral sobre o crescimento vegetal sejam amplamente reconhecidos, ainda permanece pouco compreendido se a imersão rápida de miniestacas em soluções nutritivas antes do estaqueamento é capaz de influenciar o enraizamento em condições operacionais de viveiro. Essa lacuna é particularmente relevante porque diferentes formulações nutricionais apresentam composições distintas de macro e micronutrientes, o que pode resultar em respostas fisiológicas diferenciadas durante a formação de raízes adventícias.

Com base na importância fisiológica da nutrição mineral durante o desenvolvimento das plantas e considerando a possibilidade de que a disponibilidade de nutrientes imediatamente antes do estaqueamento possa influenciar o desempenho subsequente do enraizamento, foram testadas duas hipóteses: (i) a imersão de miniestacas em soluções nutritivas influencia o desempenho do enraizamento em comparação com propágulos não tratados; e (ii) a magnitude da resposta varia de acordo com a composição da solução nutritiva. Assim, o objetivo foi avaliar os efeitos de diferentes formulações e concentrações de soluções nutritivas sobre o desempenho do enraizamento de clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* propagados por miniestaquia sob condições de viveiro comercial.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e material vegetal

O experimento foi conduzido no viveiro comercial da empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A., localizado no município de Belo Oriente, Minas Gerais, Brasil. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima Aw, caracterizado como tropical

de savana, com estação seca no inverno. A precipitação média anual é de 1.208 mm, enquanto a temperatura média anual e a umidade relativa do ar são de 25,2 °C e 65,2%, respectivamente.

Quatro clones comerciais de *E. urophylla* × *Eucalyptus grandis* (CNB010, CNB019, CNB039 e CNB040) foram selecionados para o estudo. Esses clones são rotineiramente propagados no programa de silvicultura clonal da empresa e representam materiais genéticos comumente utilizados em plantações comerciais.

2.2 Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos

O experimento foi conduzido independentemente para cada um dos quatro clones avaliados, adotando-se delineamento inteiramente casualizado composto por sete tratamentos e duas repetições. Cada repetição correspondeu a uma bandeja contendo 176 miniestacas, totalizando 352 miniestacas por tratamento para cada clone. Dessa forma, cada material genético foi representado por 2.464 miniestacas, perfazendo um total de 9.856 miniestacas considerando os quatro clones.

Os tratamentos consistiram em um controle, no qual as miniestacas foram imersas exclusivamente em água, e seis tratamentos com soluções nutritivas preparadas a partir de três fertilizantes foliares comerciais, cada um avaliado em duas concentrações (40 e 80 mL por 100 L de água). As formulações testadas foram BRANDT® Target Complete, BRANDT® Action Sil e BRANDT® Manni-Plex Vegetables.

As formulações nutricionais diferiram tanto na composição quanto na concentração de nutrientes. O BRANDT® Action Sil continha 1,0% de N, 2,0% de Mn e 3,0% de Zn. O BRANDT® Manni-Plex Vegetables fornecia 5,0% de N, além de B (0,4%), Fe (1,25%), Mg (1,8%), Mn (0,9%) e Zn (0,9%). O BRANDT® Target Complete apresentou a composição nutricional mais abrangente, contendo N (5,0%), P₂O₅ (8,0%), K₂O (5,0%), Ca (0,5%), Mg (0,6%), B (0,4%), Cu (0,2%), Mn (0,5%) e Zn (1,0%). Entre as formulações avaliadas, fósforo e potássio estavam presentes exclusivamente no Target Complete, enquanto o ferro foi fornecido apenas pelo Manni-Plex Vegetables.

As miniestacas foram coletadas no minijardim clonal do viveiro conforme rotina operacional da empresa. Cada colaboradora foi responsável pela coleta de propágulos de um único clone, evitando a mistura entre materiais genéticos. Imediatamente após a coleta, as miniestacas foram acondicionadas em caixas térmicas e submetidas à pulverização periódica

com água para preservar a hidratação dos tecidos e a qualidade fisiológica. O intervalo entre a coleta e o estaqueamento foi inferior a 30 minutos.

Antes do estaqueamento, as miniestacas foram imersas na respectiva solução de tratamento durante 30 segundos. Em seguida, os propágulos foram estaqueados em tubetes plásticos preenchidos com substrato constituído por 40% de vermiculita, 40% de casca de arroz carbonizada e 20% de fibra de coco (v/v).

2.3 Avaliação do enraizamento e análise estatística

Após o estaqueamento, as bandejas foram transferidas para casa de vegetação mantida sob as condições operacionais padrão do viveiro para propagação clonal. As miniestacas permaneceram por 25 dias, período correspondente ao ciclo usual de indução e formação inicial de raízes no sistema comercial.

A avaliação do enraizamento foi realizada aos 25 dias após o estaqueamento, durante a primeira etapa de triagem das mudas no viveiro. As miniestacas foram classificadas como enraizadas quando apresentavam raízes visíveis protrudindo pela abertura inferior do tubete. A porcentagem de enraizamento foi calculada como a proporção de miniestacas enraizadas em relação ao total de propágulos estabelecidos em cada unidade experimental.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, teste F) considerando separadamente cada clone. Essa disposição considerou a variação genética entre os materiais avaliados quanto à capacidade de enraizamento, permitindo a avaliação dos efeitos dos tratamentos dentro de cada clone de forma independente.

As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.6.0 (R Core Team, 2026), adotando-se nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas pelo teste F ($p > 0,05$) entre os tratamentos para nenhum dos clones avaliados (Tabela 1). Esses resultados indicam que a imersão das miniestacas em soluções nutritivas antes do estaqueamento não influenciou substancialmente a porcentagem de enraizamento de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* nas condições experimentais adotadas.

Tabela 1. Porcentagem média de enraizamento de quatro clones comerciais de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* submetidos ao pré-condicionamento com diferentes soluções nutritivas antes do estaqueamento.

Tratamentos	Clones				
	CNB010	CNB019	CNB039	CNB040	Média
Testemunha	82% a	35% a	60% a	73% a	63%
BRANDT Target Completo (40ml/100L de água)	89% a	47% a	75% a	75% a	72%
BRANDT Target Completo (80ml/100L de água)	87% a	44% a	78% a	64% a	68%
BRANDT Action Sil (40ml/100L de água)	87% a	18% a	74% a	71% a	63%
BRANDT Action Sil (80ml/100L de água)	88% a	28% a	76% a	60% a	63%
BRANDT Manni-Plex Vegetables 40ml/100L de água)	85% a	32% a	75% a	63% a	64%
BRANDT Manni-Plex Vegetables 80ml/100L de água)	76% a	24% a	53% a	72% a	56%

Não foi detectado efeito significativo dos tratamentos pela análise de variância (teste F) ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

Apesar da ausência de efeito detectável, observou-se variação numérica consistente entre os tratamentos, com amplitudes entre 56% e 72% de enraizamento médio. O maior valor foi registrado para o BRANDT® Target Completo na concentração de 40 mL 100 L⁻¹, representando incremento aproximado de nove pontos percentuais em relação ao controle. Embora sem suporte estatístico, esse padrão indica possível resposta fisiológica associada ao pré-condicionamento nutricional, ainda que de baixa magnitude sob as condições testadas.

A distinção entre significância estatística e relevância operacional é central na interpretação desses resultados. Em sistemas de produção clonal em larga escala, variações relativamente pequenas na taxa de enraizamento podem representar impactos econômicos expressivos quando projetadas para milhões de miniestacas. Assim, ganhos de 5 a 10 pontos percentuais podem se traduzir em aumento expressivo de mudas comerciais, sem necessidade de ampliação proporcional de área, mão de obra ou infraestrutura.

A variação entre clones foi mais pronunciada do que entre tratamentos. O clone CNB010 apresentou os maiores índices de enraizamento (76% a 89%), enquanto CNB019 apresentou os menores valores (18% a 47%), com CNB039 e CNB040 em condição intermediária. Esse padrão evidencia a forte influência genotípica sobre a rizogênese em eucalipto, amplamente relatada na literatura (Alfenas *et al.*, 2004; Griebeler *et al.*, 2024).

Essas diferenças refletem variações intrínsecas na competência de formação de raízes adventícias, possivelmente associadas ao balanço hormonal endógeno, ao estado de reservas de carboidratos e à sensibilidade dos tecidos aos sinais indutores de enraizamento (Taiz *et al.*, 2022). Em espécies lenhosas, essa variabilidade genética representa um dos principais

condicionantes da eficiência de propagação, podendo limitar a uniformidade produtiva mesmo entre materiais de desempenho silvicultural semelhante.

Entre os tratamentos, o BRANDT® Target Completo apresentou desempenho numericamente superior de forma consistente. Tal comportamento pode estar associado ao fato de ser a única formulação a conter fósforo e potássio, além de apresentar maior diversidade de micronutrientes. O fósforo desempenha papel central no metabolismo energético celular, participando da síntese de ATP, ácidos nucleicos e fosfolipídios, processos diretamente associados à intensa atividade meristemática durante a formação de raízes adventícias (Rocha *et al.*, 2013; Fernandes *et al.*, 2018).

Esses mecanismos são fisiologicamente consistentes com uma possível contribuição positiva da nutrição fosfatada; no entanto, os resultados obtidos não permitem estabelecer relação causal entre composição da solução e aumento do enraizamento. A ausência de significância estatística implica que as diferenças observadas se inserem no padrão de variação experimental, sem evidência confirmatória de efeito dos tratamentos.

Além do fósforo, o Target Completo fornece boro, cálcio, zinco, manganês, cobre, magnésio e potássio, elementos envolvidos em processos estruturais, metabólicos e regulatórios da rizogênese. O cálcio participa da sinalização celular e da diferenciação tecidual; o zinco está associado ao metabolismo de auxinas e à atividade enzimática; o boro contribui para estabilidade da parede celular; enquanto potássio e magnésio atuam na regulação osmótica e no metabolismo energético (Fernandes *et al.*, 2018). Em conjunto, esses nutrientes podem favorecer o ambiente fisiológico associado à iniciação radicular (Taiz *et al.*, 2022), embora sem efeito suficientemente consistente para modificar o desfecho estatístico.

Um padrão recorrente foi o desempenho frequentemente superior da menor concentração (40 mL 100 L⁻¹) em comparação à maior (80 mL 100 L⁻¹), especialmente para o Target Completo. Esse comportamento indica que o aumento da concentração da solução não se traduz necessariamente em maior eficiência de enraizamento. Uma explicação plausível é a ausência de limitação nutricional durante o curto período de exposição, somada a possíveis efeitos de maior concentração sobre o equilíbrio osmótico ou a dinâmica de absorção, o que pode reduzir a eficiência fisiológica da resposta.

A ausência de efeito estatístico pode ser compreendida a partir de um conjunto integrado de fatores. O experimento foi conduzido sob condições comerciais altamente otimizadas, com elevado controle ambiental e manejo adequado de substrato e irrigação, resultando em taxas elevadas de enraizamento em alguns clones. Nessas condições, a margem para incrementos

adicionais tende a ser naturalmente reduzida, sobretudo em materiais mais responsivos como o CNB010.

Outro fator relevante é o curto período de exposição das miniestacas às soluções (30 segundos), o que limita a absorção efetiva de nutrientes. Diferentemente de sistemas como fertirrigação ou aplicação no substrato, a imersão rápida promove apenas contato transitório entre solução e tecido vegetal, restringindo a internalização de solutos e, consequentemente, seu potencial efeito fisiológico (Taiz *et al.*, 2022). Somado a isso, os propágulos foram obtidos de minijardim clonal sob nutrição adequada, o que indica elevado estado nutricional inicial. Essa condição reduz a probabilidade de que uma suplementação breve imediatamente antes do estaqueamento represente um fator limitante capaz de alterar o desempenho fisiológico da rizogênese.

Do ponto de vista experimental, embora o número total de miniestacas tenha sido elevado, a utilização de apenas duas repetições por tratamento limita o poder estatístico do ensaio, aumentando a probabilidade de erro tipo II e reduzindo a sensibilidade para detectar efeitos de baixa ou moderada magnitude (Vargas-Rojas *et al.*, 2024). Assim, as tendências observadas, particularmente para o Target Completo, devem ser interpretadas como indicativas até validação em delineamentos mais robustos.

Outra limitação importante refere-se à variável resposta utilizada. A avaliação baseada apenas na presença de raízes visíveis no tubete atende ao critério operacional de viveiros comerciais, mas não descreve adequadamente a qualidade do sistema radicular. Características como biomassa, comprimento, arquitetura e ramificação podem responder de forma distinta aos tratamentos e influenciar o desempenho das mudas em fases posteriores.

Do ponto de vista operacional, a técnica avaliada apresenta vantagens relevantes, como simplicidade, baixo custo e fácil integração às rotinas do viveiro, sem necessidade de alterações estruturais. Mesmo na ausência de diferenças estatísticas, pequenas variações positivas podem ter impacto econômico relevante em sistemas de produção em larga escala. De forma geral, os resultados indicam que a imersão rápida de miniestacas em soluções nutritivas não altera significativamente o enraizamento nas condições avaliadas. Ainda assim, a consistência das tendências numéricas observadas, especialmente para a formulação contendo fósforo, aponta para a necessidade de investigações adicionais em condições mais sensíveis à detecção de efeitos, com maior número de repetições, ampliação do número de clones, variação do tempo de imersão e inclusão de variáveis morfofisiológicas do sistema radicular.

4 CONCLUSÃO

O pré-condicionamento de miniestacas de *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* por meio de imersão rápida em soluções nutritivas não influenciou significativamente a porcentagem de enraizamento nas condições de viveiro comercial avaliadas.

Embora a formulação contendo fósforo e maior diversidade de micronutrientes tenha apresentado os maiores valores numéricos de enraizamento, essas diferenças não foram confirmadas estatisticamente, não havendo evidência de efeito consistente da composição das soluções sobre o desempenho de enraizamento.

A ausência de resposta significativa pode estar associada ao curto tempo de exposição às soluções, ao elevado estado nutricional inicial dos propágulos e à predominância de fatores endógenos no controle da rizogênese em eucalipto.

Apesar disso, a simplicidade operacional da técnica e a consistência de tendências numéricas observadas indicam que o pré-condicionamento nutricional merece investigação adicional, especialmente sob delineamentos mais robustos, com maior número de repetições, diferentes tempos de imersão, ampliação do número de clones e inclusão de variáveis relacionadas à qualidade do sistema radicular

REFERÊNCIAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2004.

DE FELICE, Francisco Emerson F.; DIAS-ARAUJO, Poliana C.; PINHEIRO, Ewerton S.; VERGARA, Carlos. Mini-cutting technique for the propagation of a *Eucalyptus camaldulensis* clone selected in a semiarid region. **Forest Systems**, Madrid, v. 33, n. 3, e20905, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.5424/fs/2024333-20905>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

FERNANDES, Manilo Silvestre; SOUZA, Sonia Regina; SANTOS, Leandro Azevedo. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

GRIEBELER, Adriana Maria; ARAUJO, Maristela Machado; TURCHETTO, Felipe; GASPARIN, Ezequiel; COSTELLA, Claudia; HEINZMANN, Breta Maria; BATISTA, Bibiana Fontana; ENCARNAÇÃO, Fábio André; SANTOS, Osmarino Pires; PIMENTEL, Nathália; STAHL, Júlia Luiza. *Acacia mearnsii* pyroligneous acid as a promoter of rooting and quality of rooted cuttings of subtropical *Eucalyptus*. **Trees**, Berlin, v. 38, p. 1063-1077, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00468-024-02536-3>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual 2025**. São Paulo: IBÁ, 2025. Disponível em: <<https://iba.org/wp-content/uploads/2025/10/relatorioAnual2025.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2025.

NOVAIS, Roberto Ferreira.; ALVAREZ V., Victor Hugo; BARROS, Nairam Félix; FONTES, Renildes Lúcio Fontes; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; LIMA, Júlio César. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2026. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

ROCHA, José Henrique Texeira; PIETRO, Maurício Reynaldo; BORELLI, Karla; BACKES, Clarice; NEVES, Monica Bernardo. Production and development of eucalyptus seedlings in function of doses of phosphorus. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 535-543, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000400002>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

ROTH, Ohad; YECHEZKEL, Sela.; SERERO, Ori; ELIYAHU, Avi; VINTS, Inna; TZEELA, Pan; CARIGNANO, Alberto; JANACEK, Dorina P.; PETERS, Varena; KESSEL, Amit; DWIVEDI, Vikas; CARMELI-WEISSBERG, Mira; SHAYA, Felix; FAIGENBOIM-DORON, Adi; UNG, Kien Lam; PEDERSEN, Bjorn Pedersen; RIOV, Joseph; KLAVINS, Eric; DAWID, Corinna; HAMMES, Ulrich Z.; BEN-TAL, Nir; NAPIER, Richard; SADOT, Einat; WEINSTAIN, Roy Slow release of a synthetic auxin induces formation of adventitious roots in recalcitrant woody plants. **Nature Biotechnology**, London, v. 42, p. 1705-1716, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41587-023-02065-3>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

STAPE, Jose Luiz; BINKLEY, Dan; RYAN, Michael G.; FONSECA, Sebastião; LOOS, Rodolfo A.; TAKAHASHI, Ernesto N.; SILVA, Claudio R.; SILVA, Sérgio R.; HAKAMADA, Rodrigo E.; FERREIRA, José Mário de A.; LIMA, Augusto MN.; GAVA, José Luiz; LEITE, Fernando Palha; ANDRADE, Helder. B.; ALVES, Jacyr M.; SILVA, Gualter G. C.; AZEVEDO, Moises R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684-1694, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.012>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

TAIZ, L.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A.; ZEIGER, E. **Plant physiology and development**. 7. ed. New York: Oxford University Press, 2022.

VARGAS-ROJAS, Jorge Claudio; VARGAS-MARTÍNEZ, Alejandro; CORRALES-BRENES, Eduardo. Determinación del número de repeticiones para un experimento en agricultura: importancia de la variabilidad y tamaño del efecto. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 48, n. 2, p. 133-142, 2024.