

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

Maderson Diego Rocha de Moura

CURVAS DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES DE EUCALIPTO

São João Evangelista

2025

MADERSON DIEGO ROCHA DE MOURA

CURVAS DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES DE EUCALIPTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan

Coorientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá

São João Evangelista

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

M929c Moura, Maderson Diego Rocha de.
Curvas de enraizamento de miniestacas de clones de eucalipto/
Maderson Diego Rocha de Moura– 2025.

26f.: il.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan.
Coorientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia
Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João
Evangelista, 2025.

1. Otimização. 2. Propagação vegetativa. 3. Crescimento radicular.
4. Viveiro clonal. I. Moura, Maderson Diego Rocha de. II. Instituto
Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.973766


Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Maderson Diego Rocha de Moura


CURVAS DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES DE EUCALIPTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.


Aprovado em 27 / 02 /2025 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN**
Data: 28/02/2025 05:25:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan – IFMG (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO OLIVEIRA LAFETA**
Data: 28/02/2025 09:05:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá – IFMG (Co-orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ROSALIA NAZARETH ROSA TRINDADE**
Data: 28/02/2025 11:25:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Rosália Nazareth Rosa Trindade – APERAM Bioenergia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me guiado até este momento, concedendo-me saúde, paciência e sabedoria essenciais para a concretização deste projeto, por ter me fortalecido nos momentos bons e difíceis, e por ter me dado responsabilidade e discernimento para concluir este trabalho.

A turma de Engenharia Florestal ELF-191, em especial a Eduarlem, Emanuel, Brenner e Marcelo, e a toda a equipe do Viveiro, por todo o conhecimento compartilhado, com um agradecimento especial ao Sr. Adair da Silva, e por todo o companheirismo ao longo desses anos.

À minha família, por todo o apoio, incentivo e amor incondicional que me deram ao longo desta jornada, em especial à minha mãe Dayse, ao meu pai Valdir e ao meu irmão Maycon.

À minha esposa e ao meu filho, pelo apoio constante, pelo incentivo e pelo amor incondicional que sempre me deram durante toda essa trajetória.

Ao meu orientador, Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan, agradeço imensamente por sua dedicação, paciência e orientação ao longo de todo o processo. Seu conhecimento e orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os meus professores, em especial ao meu coorientador, Dr. Bruno Oliveira Lafetá, e ao professor Dr. Jonathan da Rocha Miranda, por todos os ensinamentos transmitidos, pela confiança depositada e pela amizade ao longo dessa trajetória.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

Robert Collier

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo acompanhar o processo de rizogênese, ajustar curvas de enraizamento por meio de modelagem matemática e determinar o tempo ótimo de permanência de miniestacas de seis clones comerciais de eucalipto em casa de vegetação, visando otimizar a produção de mudas clonais em um viveiro comercial de produção de mudas, localizado em Itamarandiba, Minas Gerais. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições e seis clones híbridos de eucalipto, sendo eles: C1 (*Eucalyptus urophylla* híbrido espontâneo), C2 (*E. camaldulensis* × *E. grandis* × *E. urophylla*), C3 (*E. camaldulensis* × *E. grandis* × *E. urophylla*), C4 (*E. pellita* × *E. urophylla*), C5 (*E. urophylla* híbrido espontâneo) e C6 (*Eucalyptus grandis* W.Hill x *Eucalyptus urophylla* S.T Blake). As miniestacas foram coletadas de um minijardim clonal e plantadas em tubetes com substrato enriquecido, mantidas sob condições controladas de temperatura e umidade. A coleta de dados ocorreu a cada 3-4 dias, durante 32 dias, avaliando o percentual de enraizamento (raízes > 1 cm). Os dados foram ajustados ao modelo logístico $Y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma T})^{-1} + \varepsilon$ que descreveu o comportamento sigmoidal do enraizamento, permitindo estimar os parâmetros α (enraizamento máximo), β e γ (velocidade de enraizamento), com coeficientes de correlação entre 0,9705 e 0,9947. O tempo ótimo de permanência foi determinado pelo método do intercepto entre as curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD). Os resultados indicaram padrões distintos de enraizamento entre os clones: C2 (14,8 dias) e C6 (18,3 dias) apresentaram maior velocidade, C1 (23,3 dias) e C3 (22,1 dias) comportamento intermediário, e C4 (30,9 dias), C5 (29,4 dias) enraizamento mais lento. O enraizamento máximo variou de 78,19% (C6) a 91,59% (C4). Esses tempos foram próximos aos necessários para atingir 70% de enraizamento (meta da empresa), sugerindo adequação do procedimento operacional. Propôs-se o agrupamento dos clones em três classes de tempo para otimizar os ciclos nas casas de enraizamento: precoce (C2 e C6, 15-20 dias), intermediário (C1 e C3, 20-25 dias) e tardio (C4 e C5, 25-30 dias). Essa estratégia pode aumentar a produção anual em até 2,1 milhões de mudas para clones precoces e 900 mil para intermediários, reduzindo custos e melhorando a eficiência do viveiro. Conclui-se que a modelagem logística e o ajuste personalizado do tempo de permanência são ferramentas eficazes para maximizar a produção clonal de eucalipto, considerando as particularidades genéticas e fisiológicas de cada clone.

Palavras-chaves: Otimização. Propagação vegetativa. Crescimento radicular. Viveiro Clonal.

ABSTRACT

This study aimed to monitor the rooting process, fit rooting curves through mathematical modeling, and determine the optimal greenhouse retention time for mini-cuttings of six commercial eucalyptus clones to remain in a greenhouse, with the goal of optimizing the production of clonal seedlings in a commercial nursery located in Itamarandiba, Minas Gerais. The experiment was conducted using a randomized block design with six replicates and six hybrid eucalyptus clones: C1 (*spontaneous Eucalyptus urophylla hybrid*), C2 (*E. camaldulensis* × *E. grandis* × *E. urophylla*), C3 (*E. camaldulensis* × *E. grandis* × *E. urophylla*), C4 (*E. pellita* × *E. urophylla*), C5 (*spontaneous E. urophylla hybrid*) and C6 (*Eucalyptus grandis* W.Hill × *Eucalyptus urophylla* S.T Blake). Mini-cuttings were collected from a clonal mini-garden, planted in 50 cm³ containers with enriched substrate, and maintained under controlled temperature and humidity conditions. Data collection occurred every 3–4 days over 32 days, assessing the rooting percentage (roots > 1 cm). The data were fitted to the logistic model $Y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma T})^{-1} + \epsilon$, which described the sigmoidal rooting behavior, enabling estimation of parameters α (maximum rooting), β , and γ (rooting rate), with correlation coefficients ranging from 0.9705 to 0.9947. The optimal retention time was determined by the intercept method between the Daily Current Increment (DCI) and Daily Mean Increment (DMI) curves. Results revealed distinct rooting patterns among clones: C2 (14.8 days) and C6 (18.3 days) exhibited faster rooting, C1 (23.3 days) and C3 (22.1 days) showed intermediate behavior, while C4 (30.9 days) and C5 (29.4 days) displayed slower rooting. Maximum rooting ranged from 78.19% (C6) to 91.59% (C4). These times closely aligned with those required to achieve 70% rooting (the company's target), indicating the operational procedure's suitability. The study proposed grouping the clones into three time classes to optimize greenhouse cycles: early (C2 and C6, 15–20 days), intermediate (C1 and C3, 20–25 days), and late (C4 and C5, 25–30 days). This approach could increase annual production by up to 2.1 million seedlings for early clones and 900,000 for intermediate clones, reducing costs and enhancing nursery efficiency. The study concluded that logistic modeling and tailored retention time adjustments are effective tools for maximizing eucalyptus clonal production, accounting for the genetic and physiological specificities of each clone.

Keywords: Optimization. Vegetative propagation. Root growth. Clonal nursery.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* pertencente à família Mirtaceae abrange as árvores comumente conhecidas como eucaliptos, nativas da Austrália, onde já foram identificadas mais de 670 diferentes espécies botânicas (BERTOLA, 2013).

Esse gênero vem contribuindo ativamente para o desenvolvimento econômico do setor florestal brasileiro, em grande parte devido ao desenvolvimento da clonagem e dos programas de melhoramento genético baseados na hibridação (ASSIS; MAFIA, 2007).

A clonagem na silvicultura assegura a manutenção das características superiores das plantas escolhidas, resultando em um povoamento uniforme, altamente produtivo e resistente a doenças (XAVIER; WENDLING; SILVA, 2021).

As primeiras mudas clonais eram produzidas a partir de brotações coletadas em jardins clonais de campo, onde eram confeccionadas e enraizadas as macroestacas. No entanto, o baixo percentual de enraizamento de alguns clones, somado a desafios logísticos, operacionais e ao controle limitado das condições ambientais, nutricionais e fitossanitárias nesses locais, impulsionou o desenvolvimento da técnica de miniestaquia (ALFENAS *et al.*, 2009)

Na miniestaquia as plantas matrizes passaram a ser plantadas e mantidas em condições de viveiro (minijardim clonal). Tal situação proporcionou vantagens como maior eficácia das atividades de manejo, maior percentual de enraizamento, maior qualidade do sistema radicular e maior velocidade de emissão das raízes (ALFENAS *et al.*, 2009; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2021).

A técnica de miniestaquia revolucionou o setor florestal, viabilizando a produção de material vegetativo em espaços reduzidos, minimizando a dependência de indutores de enraizamento, melhorando o desenvolvimento do sistema radicular, acelerando o processo produtivo, combinando alta qualidade de mudas com a diminuição dos custos de produção (DOS SANTOS *et al.*, 2005; MENDONÇA, 2011).

Operacionalmente o processo de produção de mudas pela técnica da miniestaquia pode ser dividido nas fases de produção de brotos em minijardim clonal, indução do enraizamento adventício em casa de enraizamento sob temperatura e umidade controladas, aclimação à sombra, crescimento e rustificação, sendo que a otimização de todas as atividades em cada uma destas fases contribui para o sucesso da produção de mudas clonais de eucalipto (FERREIRA *et al.*, 2004; ALFENAS *et al.*, 2009).

Para facilitar a reprodutibilidade de toda a sequência de atividades envolvidas no processo de clonagem de mudas de eucalipto, os viveiros estabelecem procedimentos operacionais padronizados para cada fase de produção, incluindo o tempo de permanência das miniestacas nas casas de enraizamento, período em que ocorre a indução à formação das raízes. Fernandes *et al.* (2018), por exemplo, sugerem que o período de enraizamento de miniestacas de eucalipto seja de 30 dias, sendo 15 dias em casa de vegetação e 15 dias em casa de sombra.

Todavia o processo de formação de raízes (rizogênese) em estacas de eucalipto é um processo de alta complexidade e dependente de múltiplos fatores de ordem interna e externa como questões fisiológicas, nutricionais e fitossanitárias das plantas matrizes e dos propágulos, bem como as condições ambientais e as práticas de manejo adotadas no processo de produção de mudas (ALFENAS *et al.*, 2009; HARTMANN *et al.*, 2014; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2021; SOUZA *et al.*, 2024).

Desta forma, recomendações padronizadas podem prejudicar a rizogênese, pois cada genótipo pode apresentar um padrão específico de enraizamento, exigindo práticas de manejo ajustadas para otimizar a formação radicular e a produção de mudas de qualidade.

Considerando que as casas de enraizamento são estruturas que representam grandes investimentos por parte dos viveiros torna-se essencial conhecer a necessidade de permanência de cada clone nas estufas para que o processo de formação de raízes ocorra plenamente, otimizando assim o uso dessas estruturas.

O ajuste de modelos matemáticos para expressar o padrão de enraizamento de diferentes materiais genéticos e subsidiar a definição do tempo ótimo de permanência em casa de enraizamento pode ser uma estratégia útil para otimizar o uso das instalações do viveiro, reduzir custos e minimizar perdas por doenças ou retirada prematura das mudas antes da completa formação das raízes (FERREIRA *et al.*, 2004; MELO *et al.*, 2011).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo acompanhar o processo de rizogênese, ajustar curvas de enraizamento através de modelagem matemática e determinar o tempo ótimo de permanência de diferentes clones de eucalipto em casa de vegetação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um viveiro comercial de produção de mudas situado no município de Itamarandiba, Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil (17°51'24" S e 42°51'40" W), a uma altitude de 1.097 metros. O clima local é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por clima temperado úmido com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. Em Itamarandiba a temperatura média é 20,5 °C e a pluviosidade média anual de 921 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2023).

Na realização do projeto foram utilizados seis clones comerciais de eucalipto da empresa, conforme descrição da Tabela 1.

Tabela 1: Informações dos clones utilizados no trabalho.

Clone	Material Genético
C1	Híbrido espontâneo (<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).
C2	Híbrido de polinização controlada (<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh, <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hil x <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).
C3	Híbrido de polinização controlada (<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh x <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hil x <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).
C4	Híbrido de polinização controlada (<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell. x <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).
C5	Híbrido espontâneo (<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).
C6	Híbrido de polinização controlada (<i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill x <i>Eucalyptus urophylla</i> S.T Blake).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Todos os materiais genéticos procederam de minicepas estabelecidas em um minijardim clonal, cultivadas em canaletes de fibrocimento preenchidos com camadas de cascalho (granulometria de 0,3 a 0,5 mm) e brita (20 mm), separadas por uma tela de sombreamento, com espaçamento entre as matrizes de 10 x 10 cm e irrigadas por um sistema semi-hidropônico. O minijardim foi mantido a céu aberto, com limpeza semanal para remover folhas, brotações e minicepas mortas.

As matrizes receberam irrigação por gotejamento com uma solução nutritiva, aplicada cinco vezes ao dia, totalizando uma vazão de 10,5 L m⁻² dia⁻¹. Essa solução continha

sulfato de magnésio ($0,6 \text{ g L}^{-1}$), cloreto de potássio em grânulos ($0,6 \text{ g L}^{-1}$), cloreto de cálcio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de zinco (4 mg L^{-1}), hidróferro (24 mg L^{-1}), ácido bórico (11 mg L^{-1}), sulfato de manganês (14 mg L^{-1}) e sulfato de cobre (2 mg L^{-1}). A condutividade elétrica da solução foi ajustada entre $1,5$ e $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$, e o pH mantido em $5,7 (\pm 0,1)$, corrigido com ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH), ambos a 1 mol L^{-1} .

As miniestacas, com comprimento de 5 a 10 cm e três pares de folhas, foram coletadas no minijardim clonal e armazenadas em um cooler de 20 litros até o plantio.

O substrato utilizado no plantio tem como base uma mistura homogênea de fibra de coco (para retenção de água), casca de arroz carbonizada (para permitir uma boa aeração) e vermiculita (na proporção de 60:30:10). Esta mistura foi enriquecida com 2 kg/m^3 de osmocote (NPK 19-06-10), 1 kg/m^3 de superfosfato simples e 1 kg/m^3 de fosfato monoamônico (MAP). Após atingir a homogeneidade a mistura foi distribuída e compactada em tubetes cônicos com capacidade de 50 cm^3 , que foram previamente esterilizados em água quente a $80 \text{ }^\circ\text{C}/30 \text{ seg}$, conforme o método descrito por Alfenas *et al.* (1999).

No ato do plantio das miniestacas (estaqueamento) as mesmas foram tratadas com o fitormônio AIB (Ácido indolilbutírico - Êxodo Científica) em uma concentração de 1.000 ppm. Após o plantio as miniestacas foram acondicionadas em uma casa de vegetação protegida (filme de polietileno transparente de $150 \text{ }\mu\text{m}$ de espessura), com controle automático de temperatura e umidade relativa do ar (acima de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ e 90% UR, respectivamente), em uma estrutura de canteiros suspensos, com sistema de irrigação por microaspersão (85 L/h).

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados, com 6 repetições e 6 clones. Cada repetição foi composta por 3 bandejas de cada clone, sendo 176 miniestacas por bandeja. A coleta de dados ocorreu a cada 3 a 4 dias, a partir da data de estaqueamento, ao longo de um período de 32 dias (total de 8 avaliações). Em cada avaliação foram selecionados aleatoriamente 3 miniestacas por clone e repetição (sendo 1 miniestaca por bandeja), totalizando 18 miniestacas por clone, por avaliação.

Todo o substrato presente no tubete foi cuidadosamente removido para expor a base das miniestacas permitindo a visualização das raízes. Em cada avaliação foram contabilizadas as miniestacas enraizadas (consideradas aquelas com presença de raízes de comprimento superior a 1 cm) e calculado o percentual de miniestacas enraizadas.

Os dados observados foram utilizados para ajustar o modelo logístico, de forma a estimar o percentual de enraizamento de cada clone ao longo do tempo (curvas de enraizamento), conforme a equação:

$$Y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma T})^{-1} + \varepsilon$$

Onde:

Y = enraizamento de miniestacas de eucalipto (%);

T = tempo após o estaqueamento em dias;

α , β e γ = coeficientes do modelo;

ε = erro

O modelo logístico foi escolhido pois já vem sendo usado na caracterização do enraizamento em viveiros de eucalipto (FERREIRA *et al.*, 2004; MELO *et al.*, 2011) e, principalmente, por sua capacidade de representar fenômenos biológicos com crescimento sigmoidal, que no contexto do enraizamento de miniestacas de eucalipto permite descrever a relação entre o percentual de enraizamento e o tempo, capturando a transição entre as diferentes fases do processo (indução, crescimento exponencial e estabilização).

As curvas de enraizamento foram ajustadas com o auxílio dos softwares Curve Expert e R e permitiram a determinação dos pontos de inflexão e dos pontos de tangente superior às curvas passando pela origem. O primeiro ponto representa o máximo incremento corrente diário do enraizamento (valor máximo obtido a partir da primeira derivada da equação) e o segundo ponto, a máxima desaceleração de crescimento do enraizamento (valor mínimo obtido a partir da segunda derivada da equação).

Para determinar do tempo ótimo de permanência das miniestacas em casa de vegetação foi utilizado o método do intercepto entre as curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD). Estas curvas representam respectivamente a velocidade diária de enraizamento a velocidade média de enraizamento, determinadas empregando-se as funções $dY/dT = \gamma \times Y (\alpha - Y) / \alpha$, para ICD, e Y/T para IMD.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros dos modelos logísticos ajustados para os dados de enraizamento observados nos 6 clones de eucalipto estudados são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Parâmetros e coeficiente de correlação do modelo logístico ajustado para estimar o percentual de enraizamento (%) de miniestacas de 6 clones de eucalipto em função do tempo (dias) após o estaqueamento.

Clones	Parâmetros do modelo $Y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma T})^{-1} + \varepsilon$			
	α	β	γ	r
C1	87,7859	120,1447	0,2784	0,9800
C2	86,9298	103,2289	0,4260	0,9925
C3	81,5289	237,6851	0,3316	0,9947
C4	91,5868	27,2159	0,1482	0,9803
C5	82,3706	489,5454	0,2776	0,9705
C6	78,1945	9993,4115	0,6311	0,9775

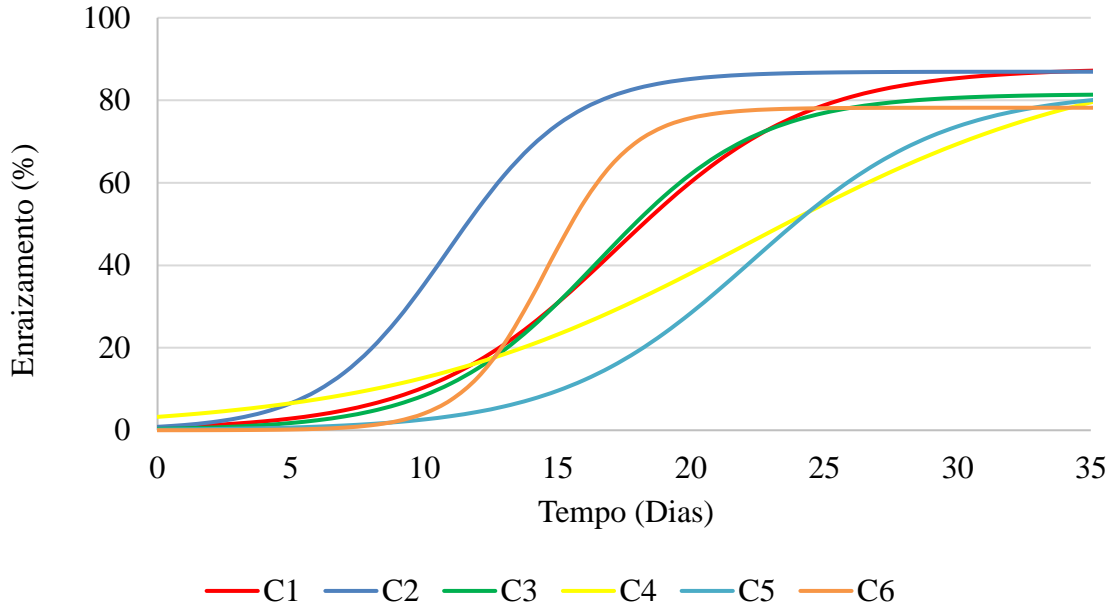
Y = enraizamento de miniestacas de eucalipto (%); T = tempo após o estaqueamento em dias; α , β e γ = coeficientes do modelo; ε = erro; r = coeficiente de correlação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A variação observada nos valores de cada um dos parâmetros evidenciou o comportamento distinto de cada clone quanto ao processo de enraizamento. O parâmetro alfa (α), por exemplo, que representa a assíntota superior das curvas ajustadas, indica a variação do potencial máximo de enraizamento alcançado por cada clone ao longo do tempo. Em ordem crescente de enraizamento máximo os clones podem ser assim ordenados: C6 (78,19%) < C3 (81,53%) < C5 (82,37%) < C2 (86,93%) < C1 (87,79%) < C4 (91,59%).

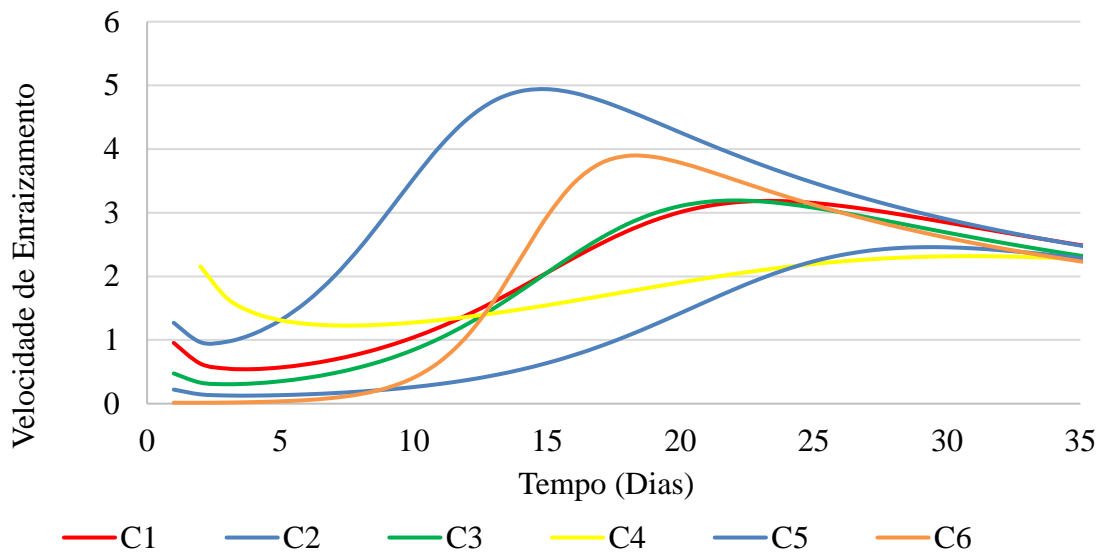
Os diferentes padrões de enraizamento entre os clones podem também ser visualizados por meio das curvas sigmóides (modelo logístico) ajustadas (Figura 1) e das curvas de velocidade de enraizamento (Figura 2).

Figura 1: Enraizamento (%) dos 6 clones de eucalipto em função do tempo de permanência em casa de enraizamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 2: Velocidade de enraizamento dos 6 clones de eucalipto em função do tempo de permanência em casa de enraizamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Conforme observado anteriormente os resultados indicaram haver diferença no padrão de enraizamento entre os clones, sugerindo que o tempo de permanência ótimo das miniestacas na casa de vegetação deva ser diferente para cada clone no viveiro.

Para os clones C2 e C6 as curvas apresentaram-se mais inclinadas, o que representa maior velocidade de enraizamento, ou seja, maior rapidez com que as miniestacas atingem o enraizamento máximo, sugerindo um menor tempo de permanência desses clones nas estufas.

Por outro lado, os clones C4 e C5 apresentaram curvas com menor inclinação, que representam um crescimento mais lento e gradual do enraizamento, demandando maior tempo de permanência das miniestacas nas casas de vegetação. Já os clones C1 e C3 apresentaram comportamento intermediário em relação à velocidade de enraizamento, e por consequência ao tempo ótimo de enraizamento das miniestacas.

O enraizamento de miniestacas de eucalipto é um processo complexo e dependente de interações entre fatores intrínsecos aos genótipos e fatores externos, como as condições ambientais e práticas culturais adotadas nos viveiros (ALFENAS *et al.*, 2009; XAVIER; WENDLING; SILVA, 2021; SOUZA *et al.*, 2024). Em outras palavras, a capacidade de enraizamento dos propágulos pode variar substancialmente entre as espécies de eucalipto e com os protocolos de manejo adotados no processo de produção de mudas clonais.

Os clones estudados são híbridos de diferentes espécies, que incluem: *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. tereticornis* e *E. siderophloia*. Desta forma, a diversidade de espécies formadoras dos clones híbridos pode ter sido decisiva para os resultados observados no presente estudo. Além disso, o protocolo de propagação utilizado foi o mesmo para todos os clones (tipo e dosagem do fitormônio, substrato e adubação de base, condições de temperatura e umidade na casa de vegetação, dentre outros), situação que pode ter favorecido ou dificultado o processo de formação de raízes nos diferentes genótipos.

Trabalhos científicos vêm demonstrando como estes fatores interferem na capacidade de enraizamento de miniestacas de eucalipto, como no estudo desenvolvido por Xavier *et al.* (2001) onde a utilização de AIB aplicado na base de miniestacas de dois clones de *Eucalyptus grandis* não influenciou o percentual de enraizamento. No entanto, esses mesmos clones responderam de forma distinta ao tempo de permanência em casa de vegetação.

Já Almeida (2006) verificou que diferentes doses de AIB influenciaram de forma distinta o enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana*, e que para os clones com reduzida capacidade de enraizamento o uso das maiores doses proporcionou os melhores resultados em termos de desenvolvimento das mudas.

Estudando 11 clones de eucalipto (híbridos de *Eucalyptus. urophylla* x *E. globulus* e de *Eucalyptus. grandis* x *E. globulus*) Borges *et al.* (2011) evidenciaram comportamento diferenciado de enraizamento variando a posição de retirada das miniestacas nos brotos das plantas matrizes no minijardim clonal (estacas apicais e intermediárias). Segundo observado por Brondani *et al.* (2014), o enraizamento adventício em miniestacas de *Eucalyptus benthamii* foi influenciado pelo material genético, aplicação de AIB e concentrações de Zn e B.

Rocha *et al.* (2022) evidenciaram para um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus pellita* que maiores concentrações de AIB reduziram a formação de calos e proporcionaram o aumento do número de miniestacas enraizadas na saída da casa de vegetação. Por outro lado, o tempo de uso do estufim no minijardim clonal não influenciou significativamente a produção de mudas deste mesmo clone.

A determinação dos pontos de inflexão e de tangente superior à curva passando pela origem das curvas sigmóides ajustadas por meio do modelo logístico (Tabela 3) também evidenciaram as diferenças de enraizamento entre os clones e corroborou os resultados visualizados nas Figuras 1 e 2.

Tabela 3: Tempo e enraizamento nos pontos de inflexão e de tangente superior passando pela origem das curvas sigmóides (modelo logístico) ajustadas para 6 clones de eucalipto.

Clone	Inflexão		Tangente superior	
	Tempo (dias)	Enraizamento (%)	Tempo (dias)	Enraizamento (%)
C1	17,2	43,9	21,9	69,2
C2	10,9	43,5	14,0	68,6
C3	16,5	40,8	20,5	64,3
C4	22,3	45,8	31,2	72,2
C5	22,3	41,2	27,1	65,0
C6	14,6	39,1	16,7	61,7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O ponto de inflexão é aquele onde ocorre a máxima taxa de enraizamento (incremento corrente diário máximo) e o tempo correspondente a esse ponto indica o momento em que o percentual de enraizamento atinge 50% do valor máximo. Já o ponto de tangente superior está localizado acima do ponto de inflexão e ocorre quando a taxa de crescimento do enraizamento começa e reduzir significativamente, indicando que a maior parte das miniestacas já enraizou e que o aumento adicional será pequeno.

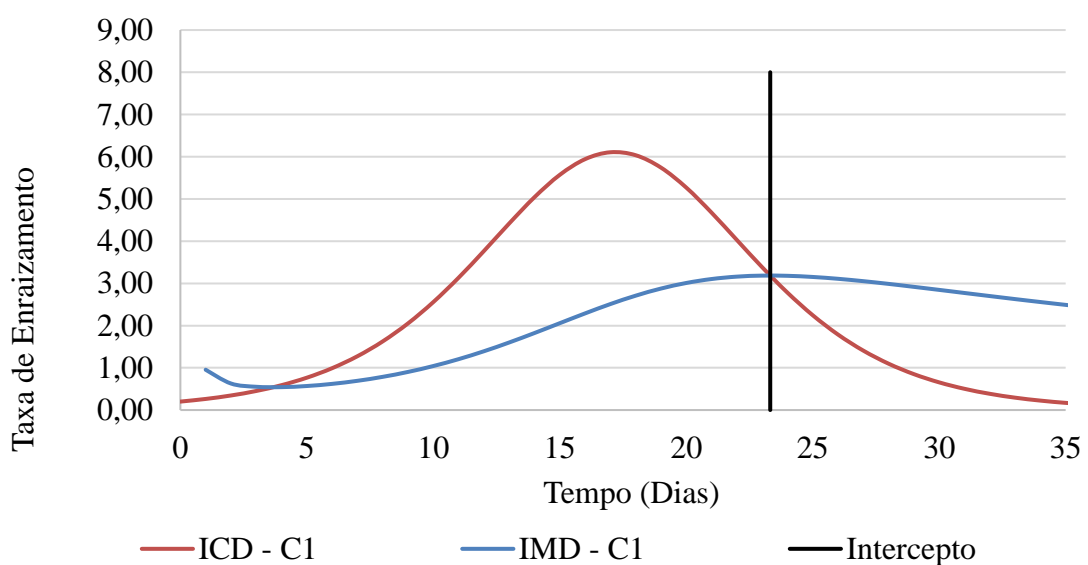
Esses pontos são essenciais para entender a curva de enraizamento de cada material genético no viveiro, sendo que o intervalo de tempo entre eles é um indicativo do período ótimo de permanência das miniestacas nas casas de enraizamento.

Ferreira *et al* (2004) afirmam que o ajuste de modelos que expressam o enraizamento de diferentes clones pode minimizar os custos nos viveiros, em virtude da otimização da utilização das suas instalações e da redução das perdas ocasionadas por doenças, partindo-se do pressuposto que a permanência das miniestacas sob condições favoráveis à incidência de doenças não excederia o tempo requerido para a adequada formação das raízes.

A determinação do tempo ótimo de indução ao enraizamento de miniestacas de eucalipto pode ser realizada pelo método do intercepto entre as curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD), em analogia aos trabalhos de biometria florestal (FERREIRA *et al.*, 2004; MELO *et al.*, 2011).

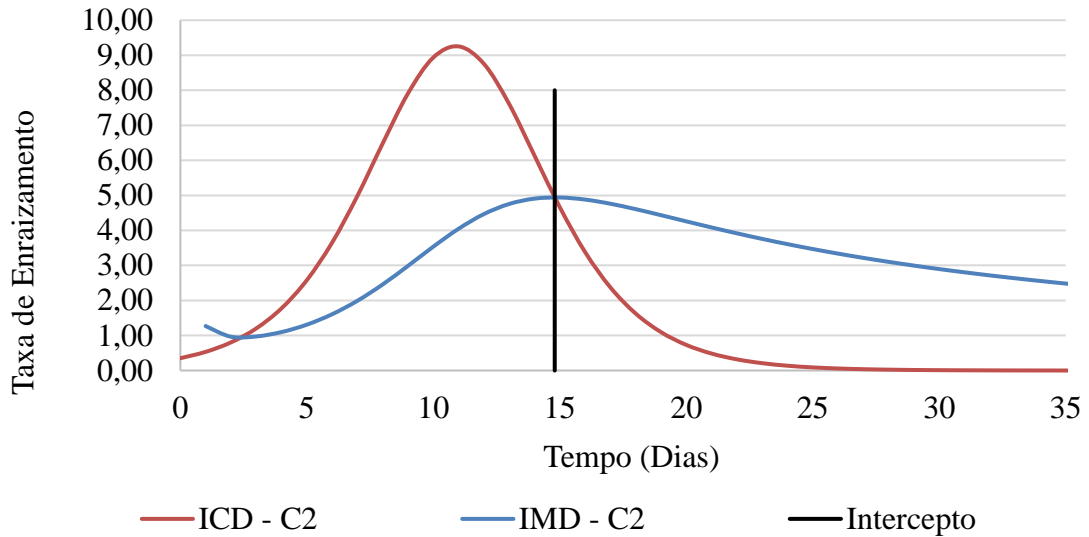
Neste contexto, a partir das curvas de enraizamento ajustadas no presente trabalho, foram determinadas as curvas de ICD e IMD, e seus respectivos pontos de intercepto, de forma a possibilitar a comparação do tempo ótimo de permanência nas estufas entre os clones. As curvas de ICD e IMD bem como a indicação do ponto de intercepto são apresentados nas Figuras 4 a 10 que representam o padrão de enraizamento dos clones C1, C2, C3, C4, C5 e C6, respectivamente.

Figura 4: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C1.



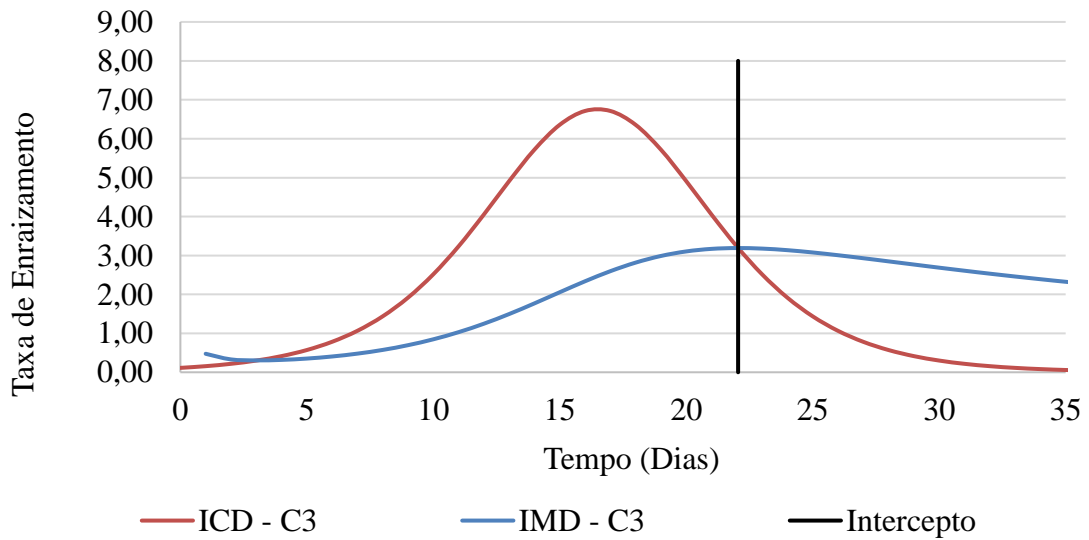
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 5: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C2.



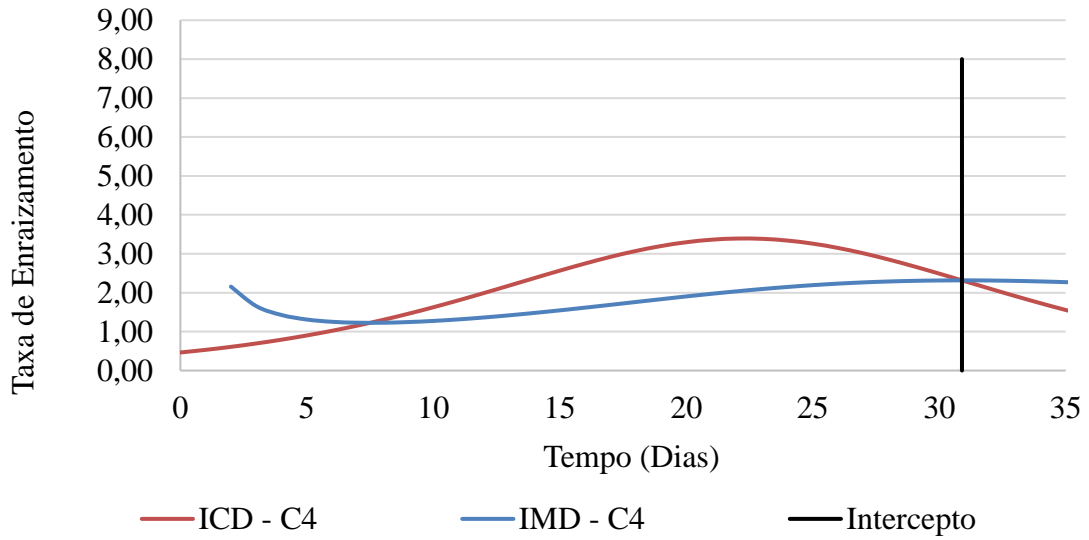
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 6: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C3.



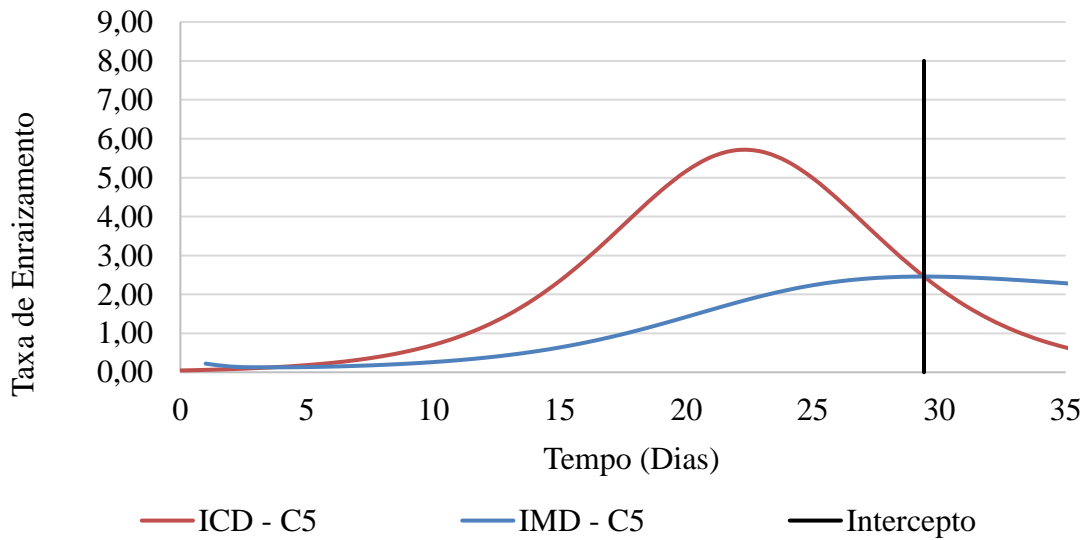
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 7: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C4.



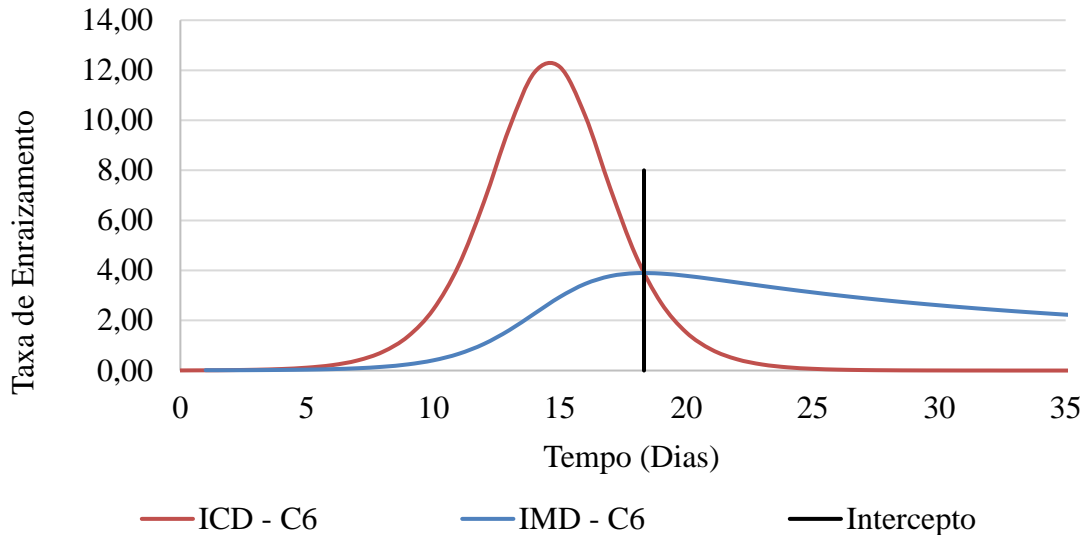
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 8: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C5.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 9: Curvas de incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) referentes ao clone C6.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base nesses resultados fica ainda mais evidente a diferença de padrão de enraizamento entre os clones, porém observa-se a possibilidade de agrupar os materiais genéticos com comportamentos semelhantes quanto ao processo de enraizamento, de forma a otimizar a utilização da estrutura do viveiro.

Neste sentido, sugerem-se os seguintes grupos com base no comportamento dos clones, representado por sua taxa de enraizamento:

- **Grupo precoce:** clones C2 e C6, com maior velocidade de enraizamento.
- **Grupo intermediário:** clones C1 e C3, com velocidade de enraizamento mediana.
- **Grupo tardio:** clones C4 e C5, com velocidade de enraizamento reduzida.

Complementarmente, o tempo necessário para que as miniestacas atingissem 70% de enraizamento (meta da empresa para retirada das miniestacas das casas de enraizamento) também foi calculado no presente trabalho, de forma a comparar com o tempo ótimo indicado pelo método do intercepto das curvas de ICD e IMD (ambos apresentados na Tabela 4).

Os resultados evidenciaram grande proximidade entre o tempo ótimo de permanência em casa de enraizamento e o tempo necessário para atingir 70% de enraizamento, indicando que o procedimento operacional da empresa (meta de enraizamento) está bem ajustado com a realidade biológica do processo de rizogênese de seus clones.

Assim, de forma a contribuir com a melhoria do processo de produção de mudas da empresa, podem ser adotadas classes de tempo de permanência das miniestacas em casa de enraizamento para cada grupo de clones, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4: Tempo ótimo de permanência em casa de vegetação e tempo para atingir 70% de enraizamento em miniestacas de clones de eucalipto, além da classe de tempo sugerida para agrupar os clones e otimizar o uso das instalações do viveiro.

Clone	Tempo ótimo de permanência nas estufas (dias)	Tempo para atingir 70% de enraizamento (dias)	Classe de tempo (dias)
C1	23,3	22,1	20 a 25
C2	14,8	14,2	15 a 20
C3	22,1	21,9	20 a 25
C4	30,9	30,2	25 a 30
C5	29,4	28,5	25 a 30
C6	18,3	18,0	15 a 20

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ainda que tenha sido evidenciado que a empresa consiga atingir a meta de 70% de enraizamento após a saída das miniestacas da casa de enraizamento, atualmente o procedimento operacional prevê um tempo de permanência padronizado de 30 dias para a retirada das miniestacas das estufas. Considerando que são necessários em média 3 dias para realização de manutenções nas casas de enraizamento após cada retirada de miniestacas, cada ciclo nestas estruturas teria duração de 33 dias. Como cada casa de vegetação possui capacidade aproximada de produção de 300 mil mudas, de acordo com a rotina operacional da empresa é possível realizar 11 ciclos de produção por ano, que corresponde à uma produção anual de 3 milhões e 300 mil mudas para cada casa de vegetação.

Utilizando a proposta de agrupamento de clones baseada na taxa de enraizamento, e as classes de tempo de permanência sugeridas na Tabela 4, é possível otimizar o uso das casas de enraizamento uma vez que nos clones do grupo precoce (enraizamento entre 15 e 20 dias), que apresenta uma média de enraizamento de 17 dias, seria possível reduzir o ciclo para 20 dias (17 de permanência para indução do enraizamento e 3 de manutenções). Essa alteração permitiria que a mesma casa de vegetação realizasse 18 ciclos anuais, ou seja, um aumento de

7 ciclos em relação ao padrão atual. Como resultado, a produção anual poderia ser ampliada em 2 milhões e 100 mil mudas apenas para o grupo de clones precoces.

Para o grupo de clones com taxa de enraizamento intermediária (classe de 20 e 30 dias) um ciclo de produção seria em média de 25 dias (22 de enraizamento e 3 de manutenções), o que possibilitaria a realização de 14 ciclos anuais (3 ciclos a mais do que o procedimento atual da empresa), gerando um incremento de 900 mil mudas estaqueadas por ano.

Com a adoção desta estratégia de agrupamento dos clones e otimização dos ciclos de utilização das casas de enraizamento espera-se, portanto, proporcionar aos viveiros clonais de eucalipto aumento da produção anual, melhoria do vigor e sanidade das mudas, e por consequência, redução de custos e maior competitividade no mercado.

4 CONCLUSÕES

- Os resultados indicaram diferenças no padrão de enraizamento entre os clones.
- O tempo ótimo de permanência dos clones nas casas de vegetação, contabilizado em dias após o estaqueamento, foi: 23,3 (C1); 14,8 (C2); 22,1 (C3); 30,9 (C4); 29,4 (C5) e 18,3 (C6).
- Recomenda-se agrupar os clones segundo a taxa de enraizamento para otimizar os ciclos de utilização das casas de enraizamento.
 - Grupo precoce (C2 e C6): 15 a 20 dias de permanência.
 - Grupo intermediário (C1 e C3): 20 a 25 dias de permanência.
 - Grupo tardio (C4 e C5): 25 a 30 dias de permanência.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A.C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 500p.
- ALFENAS, A. C. et al. **Mofocinza, causado por *Botrytis cinerea* (Persoon ex Fries) em estacas e microestacas de *Eucalyptus* sp., resistência a benomil e erradicação de inóculo do patógeno com água quente**. Revista Árvore, Viçosa, v. 4, n. 23, p. 497-500, 1999. Disponível em: < [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yzeaAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA497&dq=Alfenas+et+al.+\(1999\)&ots=83cXU2UVBH&sig=RxUKbZGO5nBNCs_nlaBR-P0ApAA#v=onepage&q=Alfenas%20et%20al.%20\(1999\)&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=yzeaAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA497&dq=Alfenas+et+al.+(1999)&ots=83cXU2UVBH&sig=RxUKbZGO5nBNCs_nlaBR-P0ApAA#v=onepage&q=Alfenas%20et%20al.%20(1999)&f=false) >. Acesso em: 20 fev. 2025.
- ALMEIDA, F. D. de. **Propagação vegetativa de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. por estaquia e miniestquia**. 2006. Disponível em: < <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/996c8932-9085-4bf2-a7f4-a43c88739309/content> >. Acesso em: 20 fev. 2025.
- ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. (2007). **Hibridação e clonagem de *Eucalyptus***. In: Borém, A. (ed.), Biotecnologia Florestal. Viçosa: Editora UFV. p.93-121.
- BERTOLA, A. Eucalipto-100 anos de Brasil. **Setor de Inventário Florestal-V&M Florestal Ltda, Curvelo-MG**, 2013. Disponível em: < https://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf >. Acesso em: 10 set. 2023.
- BORGES, S. R. et al. **Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus***. Revista Árvore, Viçosa- MG, v.35, n. 3 p. 425-434, 2011. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rarv/a/dQkGTCXF538XG9cNr3H3jtc/> >. Acesso em: 25 ago. 2023.
- BRONDANI, G. E. et al. **Miniestquia de *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações**. Cerne, v. 20, p. 147-156, 2014. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cerne/a/ndHGnkv7dDZGQhFM4KdrCrH/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 20 fev. 2025.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Dados climáticos de Itamarandiba, Minas Gerais, Brasil**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/itamarandiba-25081/>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- FERNANDES, S. J. de O. et al. **Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim**. Ciência Florestal, v. 28, p. 591-600, 2018. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cflo/a/7WvYHw4Z49wSSPf9Dyck7jk/?format=pdf&lang=pt> > Acesso em: 16 set. 2023.
- FERREIRA, E. M. et al. **Determinação do tempo ótimo do enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus* spp.** Revista Árvore, v.28, n.2, p.183-187, 2004. Disponível em: <

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/dJTQWqrCLmpxJ9bcrLhc8vt/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 16 set. 2024.

HARTMANN, A. et al. **Modeling spatiotemporal impacts of hydroclimatic extremes on groundwater recharge at a Mediterranean karst aquifer**. *Water Resources Research*, v. 50, n. 8, p. 6507-6521, 2014. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2014WR015685>>. Acesso em: 25 jan, 2024.

MELO, L. A. et al. **Otimização do tempo necessário para o enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis***. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.759-767, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/HgCJpDBTcp77zCtXDTSSnC/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MENDONÇA, E. G. **Transformação genética e rejuvenescimento in vitro de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla***. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Federal de Lavras, MG. 2011. 69 f. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1962/1/TESE_Transforma%20a7%20a3o%20gen%20a9tica%20e%20rejuvenescimento%20in%20vitro%20de%20h%20adbridos%20naturais%20de%20Eucalyptus%20urophylla.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

ROCHA, F. M. et al. **Uso de estufim e de AIB para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus urophylla* ST Blake × *Eucalyptus pellita* F. Muell**. *Ciência Florestal*, v. 32, p. 1460-1478, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cflo/a/ccTcDkcRJsWfXSNhc59yX7n/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

DOS SANTOS, A. P. et al. **Efeito da estaquia, miniestaquia, microestaquia e micropropagação no desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis*** **Effect of the cutting, minicutting, microcutting and micropropagation techniques in the silvicultural performance of *Eucalyptus grandis* clones**. 2005. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr68/cap03.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SOUZA, L. C. B. et al. **Fatores determinantes no enraizamento adventício de estacas de espécies florestais. In: Engenharias: produtividade e inovação tecnológica 2**. [S.l.]: Editora Atena, 2024. p. 98-103. Disponível em: <<https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/fatores-determinantes-no-enraizamento-adventicio-de-estacas-de-especies-florestais>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

XAVIER, A. et al. **Desempenho do enraizamento de microestacas e miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis***. (2001). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38381/1/Desempenho-do-enraizamento-de-microestacas.pdf>> Acesso em: 16 set. 2023.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; DA SILVA, R. L. **Silvicultura Clonal: princípios e técnicas**. 3ª ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.