

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Padrão foliar e aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de
miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. e de *Eucalyptus* spp.**

Edgard Vinicius de Faria Lima
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

EDGARD VINICIUS DE FARIA LIMA

**Padrão foliar e aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de
miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. e de *Eucalyptus* spp.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Aloisio Xavier

Coorientador: Samuel C Vitor Martins

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

L732p
2024
Lima, Edgard Vinícius de Faria, 1994-
Padrão foliar e aplicação de antioxidantes e de cofatores no
enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. e de
Eucalyptus spp. / Edgard Vinícius de Faria Lima. - Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (48 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Aloísio Xavier.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.810>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Corymbia* - Propagação por estaquia. 2. *Eucalyptus* -
Propagação por estaquia. 3. Mudas. 4. Clonagem. I. Xavier, Aloísio,
1965-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9232328

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

EDGARD VINICIUS DE FARIA LIMA

Padrão foliar e aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. e de *Eucalyptus* spp.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 4 de setembro de 2024.

Assentimento:

Edgard Vinicius de Faria Lima
Autor

Aloisio Xavier
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 06/12/2024 às 14:42:54 e pelo orientador em 09/12/2024 às 14:43:50. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **EX8A.FM5H.AE1L** e clique no botão 'Validar documento'.

A todos os familiares, professores e amigos que contribuíram em minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edgard e Sinvalina, e a minha irmã Letícia por todo apoio e incentivo durante todos os anos de estudo e pela oportunidade de trilhar o caminho que percorri até hoje.

Ao Professor Aloisio Xavier, pela orientação, ensinamentos e oportunidades que foram imprescindíveis para meu crescimento pessoal e profissional. Ao Professor Samuel Martins, pela coorientação, apoio e disponibilidade para realização desse trabalho. Aos membros da banca avaliadora, Professor Rodolfo Soares de Almeida e Professor Jean Marcel Sousa Lira, pela disponibilidade, ensinamentos e colaboração para conclusão desse trabalho.

Ao pesquisador Alex Freitas, supervisor do meu primeiro estágio em viveiro de produção de mudas, pela base de conhecimentos, ensinamentos e incentivo.

À pesquisadora e doutoranda Mayra Castro e ao mestrando Jefferson Carneiro, pelo apoio, sugestões, colaboração e amizade para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos amigos André Lorenzoni e Livia Marina, por todo apoio e contribuições essenciais para escrita desse trabalho, assim como pelo meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos amigos do Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal – UFV pela amizade e companheirismo, em especial aos estagiários do Projeto Estufim, Maikon, Vitor, Virgínia, Thiago, Maisa, Ingrid, Ívino e Rafael, pelo apoio e colaboração na implantação dos experimentos, sem os quais não seria possível a realização desse trabalho. E também aos amigos Lucas, Adilson, Josimar e Leo, pela dedicação, trabalho e contribuição para manter o viveiro sempre nas melhores condições de trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram significativamente em minha trajetória acadêmica e profissional, em especial aos amigos Igor Detoni, Mauro Jr., Alex Junior, Guilherme Mendes e Alexandre Ferraz.

À Sociedade de Investigações Florestais (SIF), em especial ao Professor Gleison dos Santos, pelos ensinamentos e grande contribuição para meu crescimento profissional durante a minha pós-graduação.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“O universo não seria tanto um universo se não fosse a casa das pessoas que você
ama”*

(Stephen Hawking)

RESUMO

LIMA, Edgard Vinicius de Faria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2024. **Padrão foliar e aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Corymbia* spp. e de *Eucalyptus* spp.**. Orientador: Aloisio Xavier. Coorientador: Samuel Cordeiro Vitor Martins.

A miniestaquia é uma técnica amplamente utilizada na produção de mudas clonais de *Corymbia* spp. e *Eucalyptus* spp., sendo o padrão foliar um fator crucial para o sucesso do enraizamento e da sobrevivência das miniestacas. Este estudo avaliou dois clones híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), com o objetivo de determinar o impacto do padrão foliar (miniestacas com 0, 1, 2 e 3 pares de folhas) e da aplicação de antioxidantes (ácido ascórbico, carvão ativado e PVP) e cofatores (ácido cafeico, prolina e triptofano) no enraizamento e sobrevivência das miniestacas. Os resultados indicaram que miniestacas com 1, 2 e 3 pares de folhas apresentaram taxas de enraizamento e sobrevivência superiores, além de um teor relativo de água mais elevado, em comparação com miniestacas sem pares de folhas. A aplicação de antioxidantes e cofatores mostrou-se significativa em alguns casos, porém com efeitos limitados, indicando que fatores genéticos ou ambientais podem ser mais determinantes no sucesso do enraizamento adventício. Esses resultados ressaltam a importância de considerar tanto o padrão foliar, quanto a adoção de estratégias para promoção de maior vigor fisiológico e redução de estresses ambientais, para melhorar a eficiência da propagação clonal de *Corymbia* e *Eucalyptus*.

Palavras-chave: silvicultura clonal; miniestaquia; propagação vegetativa

ABSTRACT

LIMA, Edgard Vinicius de Faria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2024. **Leaf pattern of mini-cuttings and application of antioxidants and of cofactors on the rooting of hybrids clones of *Corymbia* spp. and *Eucalyptus* spp.**. Adviser: Aloisio Xavier. Co-adviser: Samuel Cordeiro Vitor Martins.

Mini-cutting technique is a widely used for the clonal propagation of *Corymbia* spp. and *Eucalyptus* spp., with leaf pattern being a crucial factor for the success of rooting and survival of mini-cuttings. This study evaluated two hybrids clones of *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 and C2) and one hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), with the aim of determining the impact of leaf pattern (mini-cuttings with 0, 1, 2 and 3 leaf pairs) and the application of antioxidants (ascorbic acid, activated carbon and PVP) and cofactors (caffeic acid, proline and tryptophan) on the rooting and survival of the mini-cuttings. The results indicated that mini-cuttings with 1, 2, and 3 leaf pairs showed superior rooting and survival rates, as well as higher relative water content, compared to mini-cuttings without leaf pairs. The application of antioxidants and cofactors was significant in some cases but showed limited effects, indicating that genetic or environmental factors may be more determinant in the success of adventitious rooting. These findings highlight the importance of considering both leaf pattern and the adoption of strategies to promote greater physiological vigor and reduce environmental stresses to improve the efficiency of clonal propagation of *Corymbia* and *Eucalyptus*.

Keywords: clonal forestry; mini-cutting technique; vegetative propagation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
2. BIBLIOGRAFIA	11
PADRÃO FOLIAR NO ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE <i>Corymbia</i> SPP. E DE <i>Eucalyptus</i> SPP.	14
RESUMO.....	14
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. MATERIAIS E MÉTODOS	16
2.1. Material experimental.....	16
2.2. Minijardim Clonal.....	16
2.3. Obtenção, preparo, estaqueamento e enraizamento das miniestacas.....	17
2.4. Teor relativo de água.....	18
2.5. Análises Foliarens	18
2.6. Avaliações experimentais	19
3. RESULTADOS	19
3.1. Sobrevivência e enraizamento (casa de vegetação).....	19
3.2. Sobrevivência e enraizamento (casa de sombra)	20
3.3. Teor relativo de água (TRA).....	21
3.4. Análises foliares (clorofila, NBI e flavonóis)	22
4. DISCUSSÃO.....	24
4.1. Sobrevivência e enraizamento	24
4.2. Teor relativo de água.....	25
4.3. Análises foliares	26
5. CONCLUSÕES.....	27
6. BIBLIOGRAFIA	28
APLICAÇÃO DE ANTIOXIDANTES E COFATORES NO ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE <i>Corymbia</i> SPP. E DE <i>Eucalyptus</i> SPP. .	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT	32
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAIS E MÉTODOS	34
2.1. Material experimental.....	34

2.2. Minijardim Clonal	34
2.3. Preparo dos reagentes	35
2.4. Obtenção, preparo, estaqueamento e enraizamento das miniestacas	35
2.5. Análises Foliare	36
2.6. Avaliações experimentais	37
3. RESULTADOS	37
3.1. Aplicação de antioxidantes.....	37
3.1.1. Enraizamento e sobrevivência	37
3.1.2. Avaliações foliares	37
3.2. Aplicação de cofatores	39
3.2.1. Enraizamento e sobrevivência	39
3.2.2. Avaliações foliares	40
4. DISCUSSÃO.....	40
4.1. Aplicação de antioxidantes.....	40
4.2. Aplicação de cofatores	42
5. CONCLUSÕES	43
6. BIBLIOGRAFIA	44
3. CONCLUSÕES GERAIS.....	48

1. INTRODUÇÃO GERAL

A clonagem e o melhoramento genético em muito contribuem para o sucesso do setor florestal, porém com as constantes mudanças ambientais e o aparecimento de novas pragas e doenças, o aumento e manutenção da produtividade tem sido um desafio (ASSIS, 2014). Além disso, a expansão dos plantios para novas áreas com menor potencial produtivo e caracterizadas por condições climáticas desfavoráveis estimula a busca por genótipos melhores adaptados a esse tipo de situação (REIS et al., 2014, JORDAN et al., 2020, BELTRAME et al., 2023).

O gênero *Corymbia* inclui aproximadamente 113 espécies que, até 1995, eram classificadas como pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. Essas espécies foram elevadas ao nível de gênero devido às suas diferenças botânicas e filogenéticas distintas (BOLAND et al., 2006). Originárias principalmente da Austrália, essas árvores podem atingir até 35 metros de altura na natureza, apresentando troncos retos, uma proporção significativa de casca, copas amplas ou densas e botões florais em formato ovóide ou cônico (LORENZI et al., 2003). Além disso, as espécies de *Corymbia* apresentam alta densidade básica, tolerância a condições adversas, o que torna o gênero extremamente atrativo para o setor florestal brasileiro (REIS et al., 2014; COUTO, 2015).

No entanto, um dos principais obstáculos para o plantio em larga escala de *Corymbia* tem sido a produção de mudas, onde a clonagem através da miniestaquia tem enfrentado dificuldades devido ao baixo potencial de enraizamento das espécies desse gênero (REIS et al., 2013, LIMA et al., 2022, OLIVEIRA et al., 2024). A produção de mudas clonais é limitada por fatores como enraizamento, sobrevivência em casa de vegetação e suscetibilidade das espécies e híbridos desse gênero ao fungo *Oidium eucalypti* (ALFENAS et al., 2009; RUIZ, 2019). Esse fungo afeta a produtividade das minicepas no minijardim clonal, tanto em híbridos de *Eucalyptus* quanto em *Corymbia*, e compromete a sanidade das estacas a serem coletadas (KRUGNER et al., 2005; BEDENDO, 2018). Contudo, a utilização de estufim no minijardim clonal reduz a incidência desse patógeno nas minicepas (RUIZ, 2019), sendo então o principal desafio para propagação do gênero o enraizamento adventício e sobrevivência das miniestacas.

A redução foliar em miniestacas é uma técnica comum na propagação vegetativa de espécies florestais. Esse procedimento visa minimizar a perda de água durante o enraizamento, especialmente em ambientes onde o controle da umidade é limitado. A prática de remover parte das folhas diminui a área de transpiração, reduzindo a perda de água e auxiliando na

manutenção da turgescência das miniestacas. No entanto, a presença de folhas, mesmo que reduzidas, é essencial para o sucesso do enraizamento, uma vez que elas desempenham um papel crucial na fotossíntese. A fotossíntese fornece carboidratos necessários para o desenvolvimento das raízes, além de auxiliar na síntese de auxinas, hormônios fundamentais para a formação de raízes adventícias. Portanto, a redução foliar deve ser realizada de forma equilibrada, garantindo que a miniestaca mantenha sua capacidade de sustentar o processo de enraizamento e o desenvolvimento inicial das mudas produzidas (ALFENAS et al., 2009; MAYER et al., 2018; XAVIER et al., 2021).

A aplicação exógena de auxinas, aliada aos cofatores de enraizamento, substâncias que atuam sinergicamente com as auxinas para potencializar seu efeito, pode ser um método viável para melhorar o desempenho da rizogênese de espécies com baixo potencial de enraizamento adventício (GOULART, 2006; XAVIER et al., 2021). Algumas espécies florestais apresentam também a oxidação da base da miniestaca, que pode gerar espécies reativas de oxigênio que causam danos metabólicos ou oxidação da auxina no local do corte, o que pode prejudicar o sucesso da rizogênese adventícia (DE ALMEIDA et al., 2020, VILASBOA et al., 2021).

Nesse contexto, devido ao grande interesse do setor florestal na utilização de híbridos de *Corymbia* nos plantios clonais, seu alto potencial de ganhos em produtividade e tolerância a estresses bióticos e abióticos, a aplicação de cofatores e de antioxidantes visando melhoraria no enraizamento adventício de miniestacas das espécies do gênero se mostra uma estratégia promissora para contornar essa limitação na produção de mudas clonais em escala comercial.

O presente trabalho tem como objetivos a avaliação da influência do padrão foliar e da aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* e de *Corymbia*.

2. BIBLIOGRAFIA

ALFENAS, Acelino Couto et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 442p. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

ASSIS, Teotônio Francisco. **Melhoramento genético de *Eucalyptus***: desafios e perspectivas. Nova Lima: Embrapa Florestas, 2014. 22p

BEDENDO, Ivan Paulo. Oídios. In: AMORIM, Lilian; REZENDE, Jorge Alberto Marques; BERGAMIN FILHO, Armando. **Manual de fitopatologia**: princípios e conceitos. v. 1, 5 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, p.351-355, 2018.

BELTRAME, Rafael et al. Selection of eucalyptus hybrid clones planted in Brazil for growth and wood quality. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 20, n. 2, p. 191-196, 2023.

BOLAND, Douglas John et al. **Forest Trees of Australia**. CSIRO Publishing, 2006. 768 p.

DE ALMEIDA, Marcia Rodrigues et al. Proteomic profiles during adventitious rooting of *Eucalyptus* species relevant to the cellulose industry. **New Forest**, v. 51, p. 213–241, 2020.

COUTO, Allan Motta et al. **Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.

GOULART, Patrícia Bueno. **Influência do acondicionamento, antioxidantes, auxinas e seus cofatores no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Orientador: Aloisio Xavier. 2006. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

JORDAN, Rebecca et al. Combined Analyses of Phenotype, Genotype and Climate Implicate Local Adaptation as a Driver of Diversity in *Eucalyptus microcarpa* (Grey Box). **Forests**, v. 11, n. 5, p. 495, 2020.

KRUGNER, Tasso Leo et al. Doenças dos eucaliptos. In: KIMATI, Hiroshi et al. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4.ed. São Paulo: Agronômica CERES, p. 319-332, 2005.

LIMA, Marllós Santos et al. Mini-cutting technique application in *Corymbia* and *Eucalyptus*: effects of mini-tunnel use across seasons of the year. **New Forests**, v. 53, n. 1, p. 161-179, 2022.

LORENZI, Harri et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. 367 p. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2003.

MAYER, Emily Letícia Padilha; PERES, Fabiana Bandeira; TAMBARUSSI, Evandro Vagner. Arquitetura foliar de miniestacas e aplicação de biofertilizante à base de aminoácidos na miniestaca de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 251-260, 2018.

OLIVEIRA, Augusto Matias et al. Initial development of *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* plants inoculated with endophytic bacteria under indole butyric acid concentrations. **New Forests**, p. 1-18, 2024.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2013.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia maculata*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2014.

RUIZ, Anny Mery Marcon. **Intensidade de sintomas de Oídio em minijardim clonal de Eucalipto sob diferentes ambientes de cultivo**. Orientador: Edson Luiz Furtado. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2019.

VILASBOA, Johnatan et al. Microcutting Redox Profile and Anatomy in *Eucalyptus* spp. With Distinct Adventitious Rooting Competence. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, art. 620832, 2021.

XAVIER, Aloisio; WENDLING, Ivar; DA SILVA, Rogério Luiz. **Silvicultura Clonal: princípios e técnicas**. 3ª ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.

PADRÃO FOLIAR NO ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE *Corymbia* SPP. E DE *Eucalyptus* SPP.

RESUMO – A propagação vegetativa por miniestaquia é amplamente utilizada para a produção de mudas clonais de *Corymbia* spp. e *Eucalyptus* spp., sendo o número de pares de folhas em cada propágulo, um fator determinante para o sucesso do enraizamento e sobrevivência das miniestacas. Neste estudo, foram avaliadas miniestacas de dois clones híbridos de *C. citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (E1) com 0, 1, 2 e 3 pares de folhas, visando determinar o impacto do padrão foliar no enraizamento, sobrevivência e teor relativo de água (TRA) e de conteúdo foliar dos propágulos. Observou-se que miniestacas com pares de folhas (1, 2 ou 3 pares) apresentaram médias de enraizamento significativamente superiores (48,6%) quando comparadas com as miniestacas sem folhas (1,7%). Da mesma forma, a taxa de sobrevivência foi maior em miniestacas que possuíam pares de folhas (96,9%) em relação às que não possuíam folhas (27,5%). O TRA também foi mais elevado nas miniestacas com folhas, atingindo 95,3%, enquanto nas sem folhas foi de 88,9%. Os resultados sugerem que miniestacas com um número adequado de pares de folhas, mantendo alto conteúdo relativo de água e bons indicadores foliares, possuem maior potencial para o sucesso na produção de mudas clonais por miniestaquia.

Palavras-chave: Silvicultura clonal; Propagação vegetativa; Miniestaquia.

LEAF PATTERN ON THE ROOTING OF MINI-CUTTINGS OF HYBRIDS CLONES OF *Corymbia* SPP. AND *Eucalyptus* SPP.

ABSTRACT – Vegetative propagation by mini-cuttings technique is widely used for the clonal propagation of *Corymbia* spp. and *Eucalyptus* spp., with the number of leaf pairs on each propagule being a determining factor for the success of rooting and survival of the cuttings. In this study, mini-cuttings from two hybrids of *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 and C2) and one hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1) with 0, 1, 2, and 3 leaf pairs were evaluated to determine the impact of leaf pattern on rooting, survival, and relative water content (RWC) of the propagules. It was observed that mini-cuttings with leaf pairs (1, 2, and 3 pairs) had significantly higher rooting averages (48.6%) compared to those without leaves (1.7%). Similarly, the survival rate was higher in mini-cuttings with leaf pairs (96.9%) compared to those without leaves (27.5%). The RWC was also higher in mini-cuttings with leaves, reaching 95.3%, while those without leaves had 88.9%. The results suggest that mini-cuttings with an adequate number of leaf pairs, maintaining high relative water content and good foliar indicators, have greater potential for success in the clonal propagation through mini-cutting technique.

Keywords: Clonal forestry; Vegetative propagation; Mini-cutting technique.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Corymbia*, pertencente à família Myrtaceae, abrange aproximadamente 113 espécies nativas da Austrália, Papua-Nova Guiné e Tasmânia. Caracterizado por suas notáveis propriedades adaptativas, alta densidade básica, tolerância ao déficit hídrico e resistência a pragas e doenças. O gênero tem despertado crescente interesse no setor florestal brasileiro, apesar de sua recente introdução aos programas de melhoramento e do desenvolvimento genético ainda inicial em comparação com o gênero *Eucalyptus* (BOLAND et al., 2006; REIS et al., 2014; COUTO, 2015). A necessidade de estudos focados na propagação vegetativa é evidenciada pela baixa taxa de enraizamento adventício dessas espécies, limitando a produção em maior escala de mudas clonais (REIS et al., 2013).

O sucesso do enraizamento adventício, processo pelo qual raízes se desenvolvem a partir de tecidos não especializados, é importante para a propagação clonal de *Corymbia*. A capacidade de desenvolver raízes adventícias é influenciada por fatores genéticos das espécies e por fatores ambientais externos como luz, temperatura e umidade durante a fase inicial de rizogênese (BRONDANI et.al., 2018, DE ALMEIDA et. al., 2017). Compreender os mecanismos fisiológicos e ambientais que regem o enraizamento adventício de miniestacas de *Corymbia* é essencial para otimizar técnicas de propagação clonal e viabilizar sua utilização em plantios clonais.

No contexto do enraizamento adventício, as folhas desempenham múltiplas funções. Elas são importantes reservatórios de carboidratos e nutrientes que são mobilizados para a formação de novas raízes (CORREA et. al., 2015). Além disso, as folhas têm a capacidade de influenciar o microambiente ao redor da miniestaca, regulando a umidade e a temperatura (SANTOS, 2019). Condições ideais para o enraizamento adventício incluem alta umidade relativa do ar e temperatura média entre 20 e 30°C, que mantêm um déficit de pressão de vapor adequado entre as folhas da miniestaca e o ambiente circundante, prevenindo a desidratação precoce (ALFENAS et al., 2009; XAVIER et al., 2021; HARTMANN et al., 2017).

A abscisão foliar, um processo controlado de descarte de folhas, também desempenha um papel crucial no resultado do enraizamento adventício de *Corymbia*. Este fenômeno é indiretamente influenciado pelo ácido abscísico (ABA), hormônio vegetal que regula a resposta das plantas em relação ao estresse, principalmente o estresse hídrico. Em condições de déficit, a síntese de ABA é aumentada nas folhas, promovendo o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água por transpiração (VALDES et. al., 2013,

TAKAHASHI et al, 2018, CHRISTMANN&GRILL, 2018). Este mecanismo ajuda a manter a turgescência das células, preservando a disponibilidade de água interna e facilitando a absorção e a translocação eficiente de nutrientes pelos vasos condutores das miniestacas (GRANDA et al, 2014). Porém, o aumento na concentração de ABA pode promover uma maior síntese de etileno, hormônio vegetal responsável pela sinalização da abscisão foliar (CHEN et al., 2002; TAIZ et al., 2022).

Esses aspectos destacam a complexidade e a importância das interações entre folhas, enraizamento adventício e abscisão foliar em plantas do gênero *Corymbia*, fornecendo um contexto essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e melhoramento genético no setor florestal. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivos avaliar o padrão foliar de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, em relação ao número de pares de folhas, teor relativo de água e conteúdo foliar e seu impacto nas taxas de enraizamento e sobrevivência, em casa de vegetação e em casa de sombra dos genótipos selecionados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material experimental

Foram utilizados dois clones híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* e um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Os experimentos foram conduzidos no período entre os dias 11 de novembro a 21 de dezembro de 2023, no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado na rodovia MG – 280, km 3, no *campus* da UFV no município de Viçosa, Minas Gerais.

O clima dessa região é do tipo Cwa (clima subtropical de inverno seco e verão quente), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com latitude de 20° 46' S, longitude 42° 52' W e altitude média de 649 m. Apresenta precipitação média anual de 1261 mm e temperatura média de 20 °C, com temperatura mínima média de 16 °C e máxima média de 27 °C (INMET, 2024).

2.2. Minijardim Clonal

O minijardim clonal foi instalado em estufa coberta com teto plástico fixo e laterais fechadas com tela de monofilamento de polietileno com gramatura de 112 g/m², sendo

constituído de três canaletões de alvenaria com dimensões de 16 m de comprimento e 0,8 de largura, totalizando 12,8 m² de área útil para plantio das minicepas. As matrizes plantadas no minijardim clonal foram mudas produzidas através da miniestaquia, que foram dobradas em altura entre 10 e 14 cm para perda de dominância apical e após formação das brotações laterais, conduzidas para formação das minicepas que forneceram as miniestacas utilizadas na experimentação. O sistema de cultivo adotado foi do tipo leito semi-hidropônico, onde areia foi o material utilizado na sustentação das minicepas e a fertirrigação acionada de forma automática por *timer*, três vezes ao dia e um minuto por acionamento, por sistema de gotejamento em quatro fitas com gotejadores a cada 20 cm e com vazão nominal de 1,6 L/h. A solução nutritiva foi armazenada em reservatórios de 1000 L e composta pelos fertilizantes solúveis nitrato de cálcio (920 mg/L), nitrato de potássio (200 mg/L), fosfato monoamônico (96 mg/L), cloreto de potássio (240 mg/L), sulfato de magnésio (306,67 mg/L), quelato de ferro (40 mg/L), ácido bórico (0,28 mg/L), molibdato de sódio (0,04 mg/L), sulfato de zinco (0,48 mg/L), sulfato de cobre (0,10 mg/L) e sulfato de manganês (1,12 mg/L). A solução nutritiva da fertirrigação não foi reutilizada e o efluente que foi retirado do leito pelo sistema de drenagem foi avaliado diariamente para controle de qualidade da nutrição do minijardim, sendo medidos condutividade elétrica (EC) e pH da solução. Os intervalos adotados para cada parâmetro foram de 1500 a 2500 µS/cm para EC e pH entre 5,5 e 6,5.

2.3. Obtenção, preparo, estaqueamento e enraizamento das miniestacas

As miniestacas foram coletadas no minijardim clonal e armazenadas em caixas de isopor de 5 litros com aproximadamente 1/3 de seu volume preenchido com água resfriada (em torno de 10 °C), onde os propágulos estavam submersos e as caixas mantidas fechadas. O tempo máximo de armazenamento até o estaqueamento não superou 10 minutos e as dimensões adotadas para as miniestacas foram de 10 a 15 cm e tiveram suas folhas reduzidas de acordo com o número de pares de folhas dos tratamentos (0; 1; 2 e 3 pares de folhas).

As miniestacas foram então estaqueadas em tubetes com volume de 55 cm³ preenchidos com substrato comercial Carolina Soil, classe LXXVI, composto por turfa, vermiculita e casca de arroz carbonizada. A nutrição mineral do substrato foi realizada com 6 kg/m³ de superfosfato simples e 3 kg/m³ de fertilizante mineral misto Osmocote® Plus 15-9-12.

Após o processo de estaqueamento, as miniestacas foram colocadas para enraizamento em casa de vegetação climatizada, com sistema automático de irrigação do tipo

nevoeiro intermitente, com umidade relativa do ar maior que 80% e temperatura entre 20 e 35 °C, onde permaneceram por 30 dias. Após esse período foram transferidas para casa de sombra por 10 dias para aclimação.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, onde os fatores foram quatro números distintos de pares de folhas por miniestaca e três genótipos distintos, dois clones híbridos de *C. citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um clone híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (E1) como testemunha, em quatro blocos com 16 miniestacas por repetição.

2.4. Teor relativo de água

O Teor Relativo de Água (TRA) foi calculado retirando 6 miniestacas de cada repetição do experimento de número de pares de folhas para pesagem em laboratório. O TRA pôde ser obtido a partir do peso fresco (P_f), peso saturado (P_{st}) e peso seco (P_s) das miniestacas seguindo a seguinte equação.

$$TRA = \frac{P_f - P_s}{P_{st} - P_s} \times 100$$

As miniestacas foram retiradas da casa de vegetação aos 12 dias após o estaqueamento, pesadas para obter o peso fresco, colocadas para saturar em água deionizada por 24 horas após corte na base de cada miniestaca para absorção de água e pesadas novamente para obter o peso saturado. Após isso, as miniestacas foram secas em estufa com temperatura entre 60 e 70°C por 72 horas e pesadas novamente para obter o peso seco.

2.5. Análises Foliare

Foram realizadas avaliações foliares nas miniestacas utilizando o analisador de folhas Force-A Dualex® no dia do estaqueamento (dia 0) e aos 3, 6, 9 e 12 dias após o estaqueamento. O aparelho especificado realiza medições de teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e índice de flavonóis de forma não-destrutiva para obter informações nutricionais e do estado fisiológico das plantas. O sensor óptico do instrumento, através da fluorescência da clorofila, permite leituras dos referidos índices dentro da casa de vegetação de forma rápida e sem prejudicar o enraizamento das miniestacas. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 5 x 3, onde os fatores

foram os 5 dias de medição (0, 3, 6, 9 e 12 dias após estaqueamento) e os três clones, em quatro blocos de 5 miniestacas aleatórias entre os 3 genótipos.

2.6. Avaliações experimentais

Foram avaliados sobrevivência e enraizamento das miniestacas após saída da casa de vegetação (30 dias após estaqueamento) e sobrevivência e enraizamento após saída da casa de sombra (40 dias após estaqueamento). A sobrevivência foi avaliada de forma visual, considerando vivas, as miniestacas túrgidas e com caule e folhas verdes e o enraizamento contabilizado considerando miniestacas que apresentavam raízes visíveis na extremidade inferior do tubete.

Os dados coletados foram compilados no *software* Microsoft Excel e submetidos às análises de variância, teste de Tukey a 5% de significância e correlação de Pearson a 5% de significância, sendo utilizado o *software* SigmaPlot para realizar os referidos testes.

3. RESULTADOS

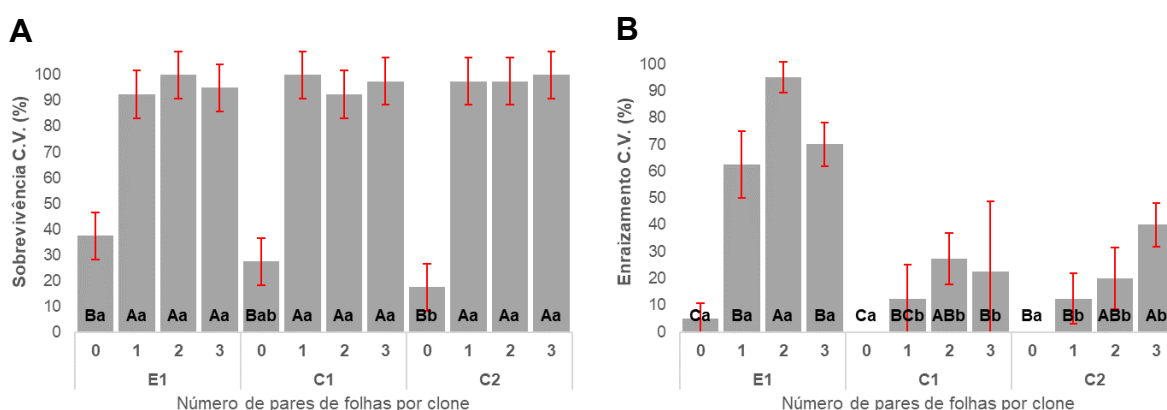
3.1. Sobrevivência e enraizamento (casa de vegetação)

A porcentagem de sobrevivência das miniestacas após 30 dias de estaqueamento em casa de vegetação foi analisada em relação ao efeito do número de pares de folhas nos clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*). Os clones E1, C1 e C2 mostraram variações significativas na sobrevivência com diferentes números de pares de folhas. Observou-se maior sobrevivência na casa de vegetação quando as miniestacas possuem 1, 2 ou 3 pares de folhas (média de $96,9\% \pm 5,8\%$), enquanto houve grande mortalidade das mesmas quando essas não possuem folhas, apresentando menores médias de sobrevivência em casa de vegetação ($37,5\% \pm 12,6\%$, $27,5\% \pm 5,0\%$ e $17,5\% \pm 15,0\%$ para os clones E1, C1 e C2, respectivamente) (Figura 1A).

De forma similar à sobrevivência, a taxa de enraizamento 30 dias após o estaqueamento na casa de vegetação foi maior quando as miniestacas possuíam pares de folhas. Para o clone E1, a maior taxa de enraizamento foi observada em miniestacas com 2 pares de folhas (média de $95,0\% \pm 5,8\%$). Para o clone C1, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos com pares de folhas (média de $20,8\% \pm 17,3\%$), e para o clone C2, as maiores taxas de enraizamento foram observadas em miniestacas com 2 e 3 pares de folhas (média de $30,0\% \pm 14,1\%$). Não houve diferença significativa entre os clones para

miniéstacas sem pares de folhas (média de $1,7\% \pm 4,0\%$), enquanto em miniéstacas com folhas (1, 2 ou 3 pares), o clone E1 apresentou maiores taxas de enraizamento do que os clones C1 e C2 (Figura 1B).

Figura 1: Porcentagem de sobrevivência (A) e de enraizamento (B) das miniéstacas na saída de casa de vegetação (30 dias após estaqueamento) em função do número de pares de folhas para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).



Obs.: Médias representadas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam o número de pares dentro de um mesmo clone e letras minúsculas comparam os clones dentro do grupo com mesmo número de pares de folhas.

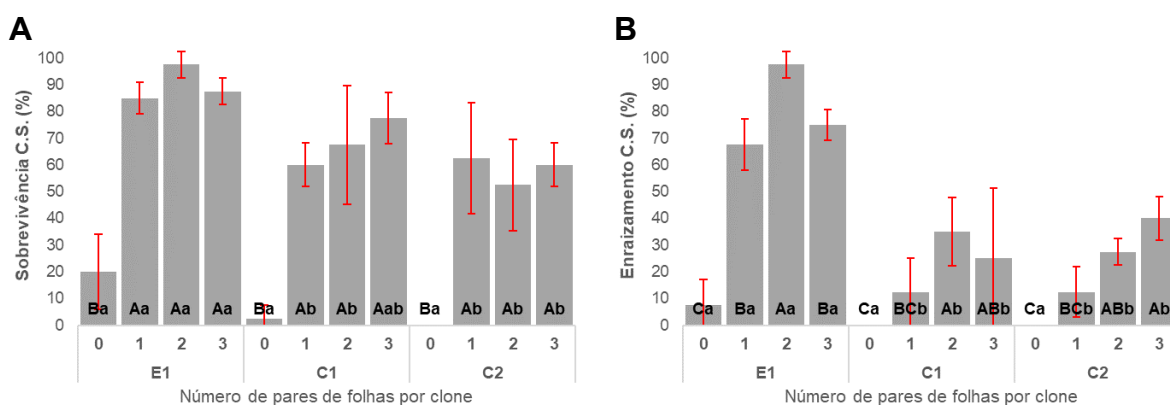
3.2. Sobrevivência e enraizamento (casa de sombra)

As taxas de sobrevivência 40 dias após o estaqueamento, na saída da casa de sombra, foram analisadas para os clones E1, C1 e C2, sendo o comportamento observado similar ao da casa de vegetação, com maior mortalidade das miniéstacas que não enraizaram, devido ao menor fluxo de irrigação e ao ambiente aberto, que permite uma maior perda de água em comparação ao ambiente controlado da casa de vegetação. Houve diferenças significativas nas taxas de sobrevivência na saída da casa de sombra para os três clones, com as maiores médias observadas nas miniéstacas que possuíam pares de folhas. As miniéstacas sem pares de folhas apresentaram as menores taxas de sobrevivência 40 dias após o estaqueamento ($20,0\% \pm 14,1\%$, $2,5\% \pm 5,0\%$ e 0% para os clones E1, C1 e C2, respectivamente), e não foi observada diferença significativa entre os clones para esse tratamento (Figura 2A).

Tratando-se do enraizamento aos 40 dias após o estaqueamento, foram observadas diferenças significativas tanto em relação ao número de pares de folhas das miniéstacas quanto entre os clones estudados. Assim como nas avaliações anteriores, as miniéstacas com

pares de folhas apresentaram maiores médias de enraizamento em comparação às miniestacas sem pares de folhas. O clone E1 apresentou a maior média de enraizamento em miniestacas com 2 pares de folhas ($97,5\% \pm 5,0\%$), enquanto para os clones C1 e C2, as melhores taxas de enraizamento foram observadas em miniestacas com 2 ou 3 pares de folhas (média de $31,3\% \pm 9,9\%$ e $32,5\% \pm 19,8\%$, para 2 e 3 pares de folhas, respectivamente). Não foi observada diferença significativa no enraizamento aos 40 dias entre os clones C1 e C2 (Figura 2B).

Figura 2: Porcentagem de sobrevivência (A) e de enraizamento (B) das miniestacas na saída de casa de sombra (40 dias após estaqueamento) em função do número de pares de folhas para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

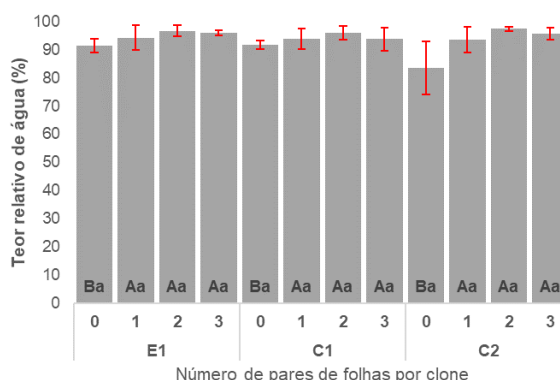


Obs.: Médias representadas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam o número de pares dentro de um mesmo clone e letras minúsculas comparam os clones dentro do grupo com mesmo número de pares de folhas.

3.3. Teor relativo de água (TRA)

O Teor Relativo de Água (TRA) das miniestacas em casa de vegetação foi avaliado 12 dias após o estaqueamento para os clones E1, C1 e C2, sendo observadas diferenças significativas em relação ao número de pares de folhas das miniestacas, embora não tenha sido observada diferença significativa entre os genótipos. As miniestacas com 1, 2 e 3 pares de folhas apresentaram as maiores médias de TRA ($95,3\% \pm 3,0\%$), enquanto as miniestacas sem pares de folhas, estaqueadas apenas com o meristema apical, mostraram os menores valores de TRA ($88,9\% \pm 7,7\%$) (Figura 3).

Figura 3: Teor relativo de água (TRA) de miniestacas em casa de vegetação, aos 12 dias após estaqueamento, em função do número de pares de folhas para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).



Obs.: Médias representadas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Letras maiúsculas comparam o número de pares dentro de um mesmo clone e letras minúsculas comparam os clones dentro do grupo com mesmo número de pares de folhas.

3.4. Análises foliares (clorofila, NBI e flavonóis)

Foram analisados os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI), teor de flavonóis, enraizamento em casa de vegetação, enraizamento em casa de sombra, sobrevivência em casa de vegetação e sobrevivência em casa de sombra dos clones E1, C1 e C2 (Tabela 1). Para o clone E1, foram observadas correlações positivas significativas entre o teor de clorofila e os parâmetros de enraizamento (em casa de vegetação e casa de sombra) e sobrevivência (em casa de sombra). Similarmente, o NBI apresentou correlações positivas significativas entre enraizamento e sobrevivência, tanto em casa de vegetação quanto em casa de sombra. O teor de flavonóis não apresentou efeito significativo no enraizamento e sobrevivência (casa de vegetação e casa de sombra) no clone E1. Pode-se verificar também correlação positiva significativa entre NBI e o teor de clorofilas ($r = 0,792$; $p < 0,001$) e correlação negativa significativa entre NBI e o teor de flavonóis ($r = -0,540$; $p < 0,050$).

Para os clones C1 e C2, não foi observado efeito significativo entre NBI e os parâmetros de enraizamento e sobrevivência (em casa de vegetação e casa de sombra) e entre o teor de clorofila e esses mesmos parâmetros. Além disso, foi observada correlação significativa positiva entre os teores de flavonóis e clorofila ($r = 0,584$; $p < 0,05$) e entre NBI e o teor de clorofila ($r = 0,684$; $p < 0,010$) para o clone C2. Para o clone C1, não foi observado efeito significativo do teor de flavonóis com os demais parâmetros avaliados.

Para os clones E1, C1 e C2, os parâmetros enraizamento e sobrevivência, em casa de vegetação e casa de sombra, apresentaram correlação positiva significativa entre si, evidenciando a interdependência entre sobrevivência e enraizamento.

Tabela 1: Coeficientes de correlação de Pearson e P-valor entre índice de balanço de nitrogênio (NBI), clorofila, flavonóis, enraizamento (Enraiz.) e sobrevivência (Sobrev.) na casa de vegetação (C. V.) e casa de sombra (C. S.) para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

Clone E1 (<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)							
	NBI	Clorofila	Flavonóis	Enraiz. C. V.	Sobrev. C. V.	Enraiz. C. S.	Sobrev. C. S.
NBI		0,792 (0,000)	-0,540 (0,031)	0,710 (0,002)	0,628 (0,009)	0,729 (0,001)	0,714 (0,002)
Clorofila			-0,315 (0,235)	0,560 (0,024)	0,431 (0,095)	0,590 (0,016)	0,538 (0,032)
Flavonóis				-0,066 (0,807)	-0,064 (0,814)	-0,126 (0,641)	-0,208 (0,441)
Enraiz. C. V.					0,927 (0,000)	0,984 (0,000)	0,944 (0,000)
Sobrev. C. V.						0,945 (0,000)	0,972 (0,000)
Enraiz. C. S.							0,971 (0,000)
Sobrev. C. S.							
Clone C1 (<i>Corymbia citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>)							
	NBI	Clorofila	Flavonóis	Enraiz. C. V.	Sobrev. C. V.	Enraiz. C. S.	Sobrev. C. S.
NBI		0,282 (0,290)	0,207 (0,441)	0,138 (0,611)	-0,040 (0,884)	0,174 (0,519)	-0,094 (0,728)
Clorofila			0,238 (0,375)	0,034 (0,901)	0,156 (0,564)	0,007 (0,978)	0,060 (0,825)
Flavonóis				0,359 (0,172)	0,038 (0,888)	0,408 (0,117)	0,079 (0,772)
Enraiz. C. V.					0,502 (0,047)	0,959 (0,000)	0,487 (0,056)
Sobrev. C. V.						0,523 (0,038)	0,918 (0,000)
Enraiz. C. S.							0,560 (0,024)
Sobrev. C. S.							
Clone C2 (<i>Corymbia citriodora</i> x <i>C. torelliana</i>)							
	NBI	Clorofila	Flavonóis	Enraiz. C. V.	Sobrev. C. V.	Enraiz. C. S.	Sobrev. C. S.
NBI		0,684 (0,003)	0,198 (0,463)	-0,120 (0,658)	-0,072 (0,793)	-0,234 (0,383)	0,125 (0,643)
Clorofila			0,584 (0,018)	0,029 (0,915)	-0,051 (0,850)	-0,125 (0,644)	0,155 (0,566)
Flavonóis				0,231 (0,389)	0,342 (0,195)	0,203 (0,452)	0,437 (0,091)
Enraiz. C. V.					0,638 (0,008)	0,947 (0,000)	0,518 (0,040)
Sobrev. C. V.						0,712 (0,002)	0,861 (0,000)
Enraiz. C. S.							0,601 (0,014)
Sobrev. C. S.							

Obs.: Os números entre parênteses representam P-valor.

4. DISCUSSÃO

4.1. Sobrevivência e enraizamento

A capacidade de desdiferenciação e rediferenciação de células vegetais, aliada à totipotência, permite que tecidos com funções já definidas se transformem em outros tecidos com funções distintas das originais. Esse processo depende de fatores como regulação hormonal, condições ambientais e outros aspectos específicos relacionados ao novo tecido de interesse. A regeneração de novos órgãos, como por exemplo a raiz, a partir dessas células diferenciadas é resultado dessa capacidade. A formação de raiz adventícia é um processo organogênico pós-embriônico no qual raízes são induzidas a partir de células determinadas não especificadas para desenvolver raízes (DIAZ-SALA, 2014; GONIN et al., 2019).

O aparecimento de raízes a partir de estacas de caule, compreende a indução de meristemas a partir do ferimento na base da estaca e isolamento da parte cortada da rede de sinais de toda a planta (DRUEGE, 2019). No entanto, alternar a programação de desenvolvimento de células adultas antes da regeneração de órgãos é difícil em muitas espécies de plantas, especialmente em espécies florestais (AYALA, 2022). O potencial de formação de raízes adventícias está ligado ao caráter genético da planta e estudos demonstram alto controle genético sobre o enraizamento, evidenciando a recalcitrância ao enraizamento do gênero *Corymbia*. (RESENDE & DUARTE, 2007; REIS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

O processo de enraizamento adventício requer a coordenação de redes regulatórias dinamicamente interconectadas. Além disso, depende de intermediários controlados epigeneticamente e conta com sinais mecânicos e bioquímicos para comunicação célula a célula e de longa distância. Nesse sentido, devemos considerar que as concentrações internas de auxina em estacas com e sem folhas são diferentes (DAO et al., 2020), podendo ter alto impacto no enraizamento adventício visto que a dinâmica de regulação hormonal foi afetada.

Outro fator a ser ponderado no enraizamento de estacas são os açúcares produzidos pela fotossíntese e que na presença de folhas podem fornecer energia para o desenvolvimento de raízes adventícias (RAPAKA et al., 2005; HARTMANN et al., 2017; TAIZ et al., 2022). Além disso, a manutenção das folhas pode favorecer o enraizamento e a sobrevivência através da produção de alguns compostos fenólicos que podem modular processos fisiológicos essenciais como regulação transcricional, transdução de sinais e efeitos associados a auxina (CHEYNIER et al., 2013).

A importância da presença de folhas em estacas para o enraizamento tem sido relatada para algumas espécies como Amoreira-preta (VIGNOLO et al., 2014), para Sanquésia (VIANA et al., 2021) e para *Eucalyptus* spp. (SOUZA et al., 2013; MORAES et al., 2014; CORREIA et al., 2015; FERNANDES et al., 2018). Além do número de folhas ou área foliar, tem-se discutido o tamanho da estaca (SOUZA et al., 2013) visto que naturalmente uma estaca maior possuiria mais folhas.

Nesse estudo, optou-se por manter o tamanho da estaca fixo e a área foliar foi reduzida através da excisão de pares de folhas, retirando as folhas por inteiro. Acredita-se que esse procedimento pode ter colaborado com a alta taxa de sobrevivência dos tratamentos com 1 e 2 pares de folhas, uma vez que a injúria causada na excisão da folha inteira não afetou essa característica. A injúria causada pelo corte das folhas ao meio pode ser porta de entrada para contaminação por fungos durante a fase de enraizamento (ALFENAS et al., 2009).

A formação de raízes adventícias é um processo multifásico, observado em plantas excisadas (miniéstacas). A excisão da miniestaca, o transporte polar de auxinas e o acúmulo inicial de auxina na zona de enraizamento são estímulos que dependem da condição fisiológica e do genótipo da planta. Espera-se que esses estímulos desencadeiem um processo autorregulatório de canalização e maximização de auxina para células-alvo, induzindo o programa de formação de raízes adventícias (DRUEGE, 2019). Sendo assim, outros fatores além da presença ou ausência de folhas nas estacas devem ser considerados no enraizamento final.

A formação do sistema radicular na miniestaca utilizando a técnica de miniestaquia apresenta impacto direto na sobrevivência do propágulo ou muda na casa de sombra. A formação adequada de raízes adventícias não só facilita a absorção de água e nutrientes essenciais, mas também proporciona estabilidade física à muda. Raízes bem desenvolvidas asseguram que a planta possa acessar um volume maior de substrato e por consequência nutrientes utilizados na adubação de base, fator crucial para sua sobrevivência e crescimento (HARTMANN et al., 2017).

4.2. Teor relativo de água

O estado hídrico das plantas pode ser avaliado por diferentes métodos, desde sintomas visuais com observação da murcha ou encarquilhamento de folhas, pelo método do teor relativo de água até a medição do potencial hídrico. Considera-se que o teor relativo de água (TRA) seja mais bem correlacionado com os fatores fisiológicos das plantas, por

apresentar forte relação com volume celular e ser relevante no metabolismo de plantas (STRABELLI et al., 2019).

Os mecanismos adaptativos mais comuns utilizados pelas plantas com relação à falta de água são: o fechamento dos estômatos, ajustamento osmótico, ajustamento da parede celular, produção de folhas menores, redução da área foliar e/ou indução da abscisão foliar e aumento da densidade e profundidade das raízes (TAIZ et al., 2022).

As miniestacas de *Eucalyptus* e *Corymbia* foram submetidas ao regime hídrico considerado suficiente durante os 30 dias em que permaneceram na casa de vegetação. A lâmina de irrigação em média permaneceu em 4 L/m²/dia. Entretanto, foi observado a abscisão foliar das miniestacas nesse período.

A resposta das plantas ao estresse hídrico pode manifestar-se através da intensificação da abscisão foliar, tanto em condições de excesso quanto de deficiência de água (CHAVES et al., 2003, TATAGIBA et al., 2014). Em ambientes com excesso de água, a saturação do substrato pode resultar em hipoxia celular e acúmulo de espécies reativas de oxigênio, comprometendo a saúde das miniestacas. Em resposta, a planta pode induzir a abscisão foliar para reduzir a superfície de perda de água e aliviar o estresse nas raízes (GEORGE et al., 2012). Nesse cenário, as folhas podem se tornar mais propensas ao desprendimento devido ao comprometimento da função fotossintética e ao estresse geral, tornando a abscisão uma estratégia adaptativa para diminuir a demanda hídrica e facilitar a recuperação (BAILEY-SERRES & VOESENEK, 2008).

4.3. Análises foliares

A utilização de sensores portáteis, como o SPAD-502 e o Force A Dualex®, para avaliar o estado nutricional e fisiológico de plantas tornou-se uma prática amplamente adotada em diversas culturas agrícolas. Vários estudos demonstram que os dados obtidos com esses dispositivos apresentam uma forte correlação com os valores reais de clorofila, nitrogênio e flavonóis (CEROVIC et al., 2012; COELHO et al., 2012; OVERBECK et al., 2018; LIU et al., 2024).

As análises foliares das miniestacas indicam uma associação entre os índices foliares e o sucesso no enraizamento e na sobrevivência das plantas. Observou-se que os clones com maiores teores de clorofila e índice de balanço de nitrogênio (NBI) apresentaram taxas mais elevadas de enraizamento e sobrevivência, particularmente em ambiente controlado, como é o caso da casa de vegetação. Esse comportamento reflete a importância do estado nutricional

foliar na capacidade das miniestacas de formar raízes adventícias e sobreviver em condições de estresse moderado (HARTMANN et al., 2017; XAVIER et al., 2021).

Para o clone E1, as correlações positivas entre NBI, teor de clorofila e os parâmetros de enraizamento e sobrevivência sugerem que esse clone se beneficia de um estado nutricional foliar adequado, o que se reflete em uma maior eficiência no enraizamento, como evidenciado pelos índices observados (ALMEIDA et al., 2007; DA COSTA et al., 2013). Esses resultados apoiam a hipótese de que uma fotossíntese eficiente, resultante de maiores teores de clorofila, fornece os carboidratos necessários para o desenvolvimento radicular, enquanto um NBI elevado indica um balanço nitrogenado que favorece a síntese proteica, essencial para o crescimento e desenvolvimento das raízes (TAIZ et al., 2022).

Por outro lado, os clones C1 e C2 não apresentaram correlações significativas entre NBI, teor de clorofila e os parâmetros de enraizamento e sobrevivência. Essa ausência de correlação sugere que outros fatores, possivelmente genéticos ou fisiológicos, desempenham um papel mais relevante na determinação do sucesso do enraizamento nesses clones (FOGAÇA & FETT-NETO, 2005; GONIN et al., 2019; LI, 2021). A diferença de resposta entre os clones destaca a complexidade do processo de enraizamento, onde a interação entre fatores internos, como a concentração de hormônios e nutrientes, e externos, como as condições ambientais, podem variar (HARTMANN et al., 2017).

Em relação ao teor de flavonóis, não foram observadas correlações significativas com os parâmetros avaliados para nenhum dos clones, sugerindo que, ao contrário da clorofila e do NBI, os flavonóis podem não desempenhar um papel direto no enraizamento e sobrevivência das miniestacas nessas condições experimentais, embora outras classes de flavonoides e compostos fenólicos sejam (CURIR et al., 1990; GOULART et al., 2011; CORREA et al., 2012). No entanto, a correlação positiva significativa entre NBI e teor de clorofila, observada especificamente no clone E1, indica uma interdependência entre esses parâmetros na promoção de um estado nutricional foliar que favorece o enraizamento (XAVIER et al., 2021; TAIZ et al., 2022).

5. CONCLUSÕES

A presença de folhas nas miniestacas de *Eucalyptus* e *Corymbia*, juntamente com um adequado teor relativo de água e um bom estado nutricional foliar, impactam positivamente as taxas de enraizamento e sobrevivência, destacando a importância dessas variáveis para o sucesso da produção de mudas clonais através da miniestaquia de clones dos referidos gêneros.

As miniestacas com 1, 2 ou 3 pares de folhas apresentaram maior sobrevivência e enraizamento tanto em casa de vegetação quanto em casa de sombra, em comparação com aquelas sem folhas. O clone E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) destacou-se com maior enraizamento e sobrevivência, especialmente em miniestacas com 2 pares de folhas.

O teor relativo de água (TRA) foi significativamente maior em miniestacas com pares de folhas, corroborando a importância da manutenção da turgescência para o sucesso do enraizamento. Para os 3 clones avaliados, valores de TRA acima de 90% foram os que apresentaram maiores taxas de enraizamento e sobrevivência.

Apesar do conteúdo foliar das miniestacas ser importante para o vigor e metabolismo dos propágulos, o sucesso do enraizamento adventício depende de muitos outros fatores que podem impactar com maior magnitude a formação de primórdios radiculares, como por exemplo os fatores ambientais e genético.

6. BIBLIOGRAFIA

ALFENAS, Acelino Couto et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 442p. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

ALMEIDA, Fernanda Daniele de; XAVIER, Aloisio; DIAS, José Maria Moreira. Propagação vegetativa de árvores selecionadas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. por estaquia. **Revista Árvore**, v. 31, p. 445-453, 2007.

AYALA, Paula Gabriela et al. Transcriptome Dynamics of Rooting Zone and Leaves during In Vitro Adventitious Root Formation in *Eucalyptus nitens*. **Plants**, v.11, 3301, 2022.

BAILEY-SERRES, Julia; VOESENECK, Laurentius Adrianus Cornelis Josef. Flooding stress: Acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-339, 2008.

BOLAND, Douglas John et al. **Forest Trees of Australia**. CSIRO Publishing, 2006. 768 p.

BRONDANI, Gilvano Ebling et al. Mini-incubators improve the adventitious rooting performance of *Corymbia* and *Eucalyptus* microcuttings according to the environment in which they are conditioned. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2018, p. 2409-2423.

CEROVIC, Zoran et al. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. **Physiologia plantarum**, v. 146, n. 3, p. 251-260, 2012.

CHAVES, Maria Manuela, MAROCO, João, PEREIRA, João Santos. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, n.3, p.239-264, 2003.

- CHEN, Shaoliang et al. Xylem abscisic acid accelerates leaf abscission by modulating polyamine and ethylene synthesis in water-stressed intact poplar. **Trees**, v. 16, p. 16-22, 2002.
- COELHO, Fabrício Silva et al. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 584-592, 2012.
- CORREA, Luciano da Rocha et al. Distinct modes of adventitious rooting in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Biology**, v. 14, n. 1, p. 100-109, 2012.
- CORREIA, Ana Caroline Guieiro et al. Redução foliar em miniestacas e microestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 295-304, 2015.
- COUTO, Allan Motta et al. **Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização**. Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.
- CHEYNIER, Véronique et al. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. **Plant physiology and biochemistry**, v. 72, p. 1-20, 2013.
- CHRISTMANN, Alexander; GRILL, Erwin. Peptide signal alerts plants to drought. **Nature**, v.556, p. 178-179, 2018.
- CURIR, Paolo et al. Flavonoid accumulation is correlated with adventitious roots formation in *Eucalyptus gunnii* Hook micropropagated through axillary bud stimulation. **Plant Physiology**, v. 92, n. 4, p. 1148-1153, 1990.
- DA COSTA, Cibele Tesser et al. When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 133, 2013.
- DAO, Jonas Patrick et al. Effect of leafy and leafless greenwood, softwood and hardwood cuttings success of *Garcinia kola* (Heckel). **Agricultural Sciences**, v.11, p. 897-811, 2020.
- DE ALMEIDA, Marcia Rodrigues et al. Environmental control of adventitious rooting in *Eucalyptus* and *Populus* cuttings. **Trees**, v. 31, p.1377–1390, 2017.
- DIAZ-SALA, Carmen. Direct reprogramming of adult somatic cells toward adventitious root formation in forest tree species: the effect of the juvenile–adult transition. **Frontiers in Plant Science**, v.5, art 310, 2014.
- DOS SANTOS, Rafael Lima. **Influência do microclima nas trocas gasosas e na produção de estacas em jardim clonal de *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp.** Orientador: Magali Ribeiro da Silva. 2019. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas UNESP, Botucatu, SP, 2019.
- DRUEGE, Uwe et al. Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation. **Annals of Botany**, v.123, p. 929-949, 2019.

FERNANDES, Sula Janaína de Oliveira et al. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 591-600, 2018.

FOGAÇA, Claudia Martellet; FETT-NETO, Arthur Germano. Role of auxin and its modulators in the adventitious rooting of *Eucalyptus* species differing in recalcitrance. **Plant Growth Regulation**, v. 45, p. 1-10, 2005.

GEORGE, Eckhard; HORST, Walter; NEUMANN, Elke. Adaptation of plants to adverse soil condition. In: MARSCHNER, Horst. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Stuttgart: Editora Academic Press, Cap 17, p.409-472, 2012.

GONIN, Mathieu et al. What Makes Adventitious Roots?. **Plants**, v.8, p.240, 2019.

GOULART, Patrícia Bueno; XAVIER, Aloisio; DIAS, José Maria Moreira. Efeito dos cofatores hidroquinona, prolina e triptofano no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1017-1026, 2011.

GRANDA, Víctor et al. Physiological and biochemical responses to severe drought stress of nine *Eucalyptus globulus* clones: a multivariate approach. **Tree physiology**, v. 34, n. 7, p. 778-786, 2014.

HARTMANN, Hudson Thomas et al. **Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices**. 9. ed. New Jersey: Pearson, 2017. 1024 p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas** – Período: 1991 a 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 05 set. 2024.

LI, Shi-Weng. Molecular bases for the regulation of adventitious root generation in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 614072, 2021.

LIU, Qing et al. Multi-source data fusion improved the potential of proximal fluorescence sensors in predicting nitrogen nutrition status across winter wheat growth stages. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 219, art. 108786, 2024.

MORAES, Cristiano Bueno de et al. Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 219-227, 2014.

OLIVEIRA, Leandro Silva; DIAS, Poliana Coqueiro; DE ALMEIDA, Marcílio. Avaliação genética do enraizamento de miniestacas de uma procedência de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 35, n. 84, p. 391-397, 2015.

OVERBECK, Verena et al. Identification of light availability in different sweet cherry orchards under cover by using non-destructive measurements with a Dualex™. **European Journal of Agronomy**, v. 93, p. 50-56, 2018.

RAPAKA, Vijaya Kumar et al. Interplay between initial carbohydrate availability, current photosynthesis, and adventitious root formation in *Pelargonium* cuttings. **Plant Science**, v.168, p. 1547-1560, 2005.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2013.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia maculata*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2014.

RESENDE, Marcos Deon Vilela; DUARTE, João Batista. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

SOUZA, Cibele Chaves et al. Padrões de miniestacas e sazonalidade na produção de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* Hill X *E. urophylla* ST Black. **Revista Árvore**, v. 37, p. 67-77, 2013.

STRABELI, Taila Fernanda et al. Conteúdo relativo de água afeta o comportamento espectral de folhas de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v.48, e3326, p. 1-15, 2019.

TAIZ, Lincoln et al. **Plant Physiology and Development**. 7. ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2022. 864 p.

TAKAHASHI, Fuminori et al. A small peptide modulates stomatal control via abscisic acid in long-distance signalling. **Nature**, v.553, p. 235-238, 2018.

TATAGIBA, Sandro Dans et al. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Revista Floresta**, v.45, p. 745-754, 2015.

VALDÉS, Ana Elisa et al. Drought tolerance acquisition in *Eucalyptus globulus* (Labill.): A research on plant morphology, physiology and proteomics. **Journal of Proteomics**, v.79, p. 263-276, 2013.

VIANA, Carla Marins Santos Santana et al. Número de folhas e comprimento de estaca no enraizamento de sanquésia. **Research, Society and Development**, v. 10, n.5, e7210514426, 2021.

VIGNOLO, Gerson Kleinick et al. Presença de folhas no enraizamento de estacas de amoreira-preta. **Ciência Rural**, v. 44, p. 467-472, 2014.

XAVIER, Aloisio; WENDLING, Ivar; DA SILVA, Rogério Luiz. **Silvicultura Clonal: princípios e técnicas**. 3ª ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2021. 275 p.

APLICAÇÃO DE ANTIOXIDANTES E COFATORES NO ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE CLONES HÍBRIDOS DE *Corymbia* SPP. E DE *Eucalyptus* SPP.

RESUMO – A propagação clonal de *Eucalyptus* spp. e de *Corymbia* spp. enfrentam desafios significativos, especialmente no que diz respeito ao enraizamento e à sobrevivência de miniestacas na produção de mudas clonais. A aplicação de antioxidantes e cofatores surge como uma estratégia para melhorar esses processos, ao modular o estresse oxidativo e promover condições hormonais adequadas à rizogênese. Neste estudo, foram avaliados os efeitos de três antioxidantes (ácido ascórbico, carvão ativado e PVP) e três cofatores (ácido cafeico, prolina e triptofano) no enraizamento e sobrevivência de miniestacas de dois híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1). A análise dos dados indicou significância estatística para o ácido ascórbico, PVP, ácido cafeico, prolina e triptofano na avaliação do enraizamento das miniestacas. No entanto, esses efeitos foram pouco expressivos, sugerindo que fatores genéticos e ambientais tiveram maior influência sobre o enraizamento e sobrevivência das miniestacas.

Palavras-chave: Miniestaquia; Propagação clonal; Rizogênese;

APPLICATION OF ANTIOXIDANTS AND COFACTORS IN THE ROOTING OF MINI-CUTTINGS OF HYBRIDS CLONES OF *Corymbia* SPP. AND *Eucalyptus* SPP.

ABSTRACT – Clonal propagation of *Eucalyptus* spp. and the *Corymbia* spp. faces significant challenges, particularly regarding the rooting and survival of mini-cuttings. The application of antioxidants and cofactors emerges as a strategy to improve these processes by modulating oxidative stress and promoting hormonal conditions conducive to rhizogenesis. In this study, the effects of three antioxidants (ascorbic acid, activated carbon, and PVP) and three cofactors (caffeic acid, proline, and tryptophan) on the rooting and survival of mini-cuttings from two hybrids of *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 and C2) and one hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1) were evaluated. The linear regression analysis of the data indicated statistical significance for ascorbic acid, PVP, caffeic acid, proline, and tryptophan in some of the clones evaluated. However, these effects were minor, suggesting that genetic and environmental factors may have a greater influence on the rooting and survival of mini-cuttings.

Keywords: Mini-cutting technique; Clonal propagation; Rhizogenesis;

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Corymbia* tem despertado grande interesse no setor florestal brasileiro, principalmente devido a suas características distintivas, como alta densidade básica, tolerância ao déficit hídrico e resistência a pragas e doenças (TEIXEIRA, 2015; PERES et al., 2019). Contudo, a propagação eficiente dessas espécies continua a ser um desafio, com taxas de enraizamento frequentemente baixas, variando significativamente entre 10% e 30% (REIS et al., 2013).

A miniestaquia constitui como a técnica principal de propagação vegetativa, assegurando produtividade e uniformidade dos clones, além de considerar interações genótipo-ambiente e vigor da parte aérea das plantas (HIGASHI et al., 2000; KONZEN et al., 2018). O enraizamento adventício, processo essencial que envolve o redirecionamento de células totipotentes para formar novas raízes (BORGES et al., 2011), é influenciado tanto pela nutrição mineral da planta matriz quanto por fatores ambientais como temperatura, alta umidade relativa do ar e adequada radiação solar (DE ALMEIDA et al. 2017; VILASBOA et al., 2019; GRIEBELER et al., 2024). Condições inadequadas de luz podem comprometer a fotossíntese e induzir estresse o que resulta na produção de inibidores de enraizamento (BATISTA et al., 2018). Além disso podem causar alterações hormonais, como a inativação do ácido indol-3-acético, uma auxina natural essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SARR et al., 2003; SHARMA et al., 2023).

O equilíbrio hormonal, determinado pela concentração de sinalizadores químicos, exerce papel crucial na qualidade, uniformidade e eficiência da formação do sistema radicular. A predominância de auxinas sobre citocininas favorece a rizogênese adventícia, crucial não apenas para o enraizamento, mas também para a formação de folhas, flores e frutos, influenciando o crescimento e a dominância apical das plantas (HARTMANN et al., 2017, VILASBOA et al., 2019).

O processo de enraizamento adventício é complexo e envolve a participação de diversos cofatores que atuam em conjunto com as auxinas para controlar seus efeitos e promover um enraizamento eficaz. Cofatores como ácido cafeico, ácido clorogênico, ácido cumárico, catecol, fenilalanina, fluoroglucinol, hidroquinona, prolina e triptofano desempenham papéis específicos nesse contexto (GOULART et al., 2011; DENAXA et al., 2022; TSAFOUROS et al., 2022).

Além dos fatores hormonais e cofatores, a adaptação fisiológica das plantas ao ambiente envolve processos oxidativos como a fotossíntese e a respiração, que resultam na

formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) em resposta a estresses bióticos e abióticos (MILLER et al., 2010). O estresse oxidativo, caracterizado pelo desequilíbrio entre a produção de ERO e a capacidade antioxidante das plantas, é fundamental para a aclimação e resposta adaptativa às condições adversas. Estudos recentes destacam a importância dos antioxidantes no manejo desse estresse oxidativo, com compostos como ácido ascórbico e flavonóis desempenhando papéis cruciais na neutralização das ERO e na proteção celular (KÜPPER et al., 2007; LIANG et al., 2022).

Diante disso, sistemas antioxidantes complexos estão presentes nas plantas superiores para regular o estresse oxidativo, neutralizando ERO e minimizando danos celulares. A compreensão desses mecanismos é crucial não apenas para o entendimento do enraizamento adventício em *Corymbia*, mas também para o desenvolvimento de estratégias de manejo em viveiro que possibilitem a produção de mudas clonais em escala. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivos avaliar a aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de miniestacas de clones de *Corymbia* spp. e de *Eucalyptus* spp.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material experimental

Foram utilizados dois clones híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1). Os experimentos foram conduzidos no Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado na rodovia MG – 280, km3, no *campus* da UFV no município de Viçosa, Minas Gerais.

O clima dessa região é do tipo Cwa (clima subtropical de inverno seco e verão quente), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com latitude de 20° 46' S, longitude 42° 52' W e altitude média de 649 m. Apresenta precipitação média anual de 1261 mm e temperatura média de 20 °C, com temperatura mínima média de 16 °C e máxima média de 27 °C (INMET, 2024).

2.2. Minijardim Clonal

A estrutura do minijardim clonal foi composta por estufa coberta com teto plástico fixo e laterais fechadas com tela de monofilamento de polietileno com gramatura de 112 g/m²,

e três canaletões de alvenaria com dimensões de 16 m de comprimento e 0,8 de largura, totalizando 12,8 m² de área útil para plantio das minicepas por canaletão. As minicepas do minijardim clonal foram constituídas a partir de mudas produzidas através da miniestaquia, as quais forneceram as miniestacas utilizadas nesta experimentação. Os canaletões foram instalados como sistema semi-hidropônico, onde foi utilizado areia como material inerte exclusivamente para sustentação das minicepas e fertirrigação acionada de forma automática por *timer*, três vezes ao dia e durante um minuto por acionamento, com sistema de gotejamento em quatro fitas possuindo gotejadores a cada 20 cm e com vazão nominal de 1,6 L/h. A solução nutritiva adotada foi composta pelos fertilizantes solúveis nitrato de cálcio (920 mg/L), nitrato de potássio (200 mg/L), fosfato monoamônico (96 mg/L), cloreto de potássio (240 mg/L), sulfato de magnésio (306,67 mg/L), quelato de ferro (40 mg/L), ácido bórico (0,28 mg/L), molibdato de sódio (0,04 mg/L), sulfato de zinco (0,48 mg/L), sulfato de cobre (0,10 mg/L) e sulfato de manganês (1,12 mg/L). A solução nutritiva da fertirrigação não foi reutilizada e o efluente retirado do leito pelo sistema de drenagem foi avaliado diariamente para controle da qualidade da nutrição do minijardim, sendo medidos condutividade elétrica (EC) e pH da solução. Os intervalos considerados ótimos para cada parâmetro foram de 1500 a 2500 µS/cm para EC e 5,5 e 6,5 para o pH.

2.3. Preparo dos reagentes

Foram preparadas soluções com quatro concentrações distintas dos antioxidantes ácido ascórbico (0; 20; 40 e 80 mg/L), carvão ativado (0; 500; 1000 e 2000 mg/L) e PVP (0; 8000; 16000 e 24000 mg/L) e dos cofatores ácido cafeico (0; 1; 2 e 4 mg/L), prolina (0; 0,10; 0,20 e 0,40 mg/L), triptofano (0; 0,20; 0,40 e 0,80 mg/L). Em conjunto com todas as soluções de cofatores foi adicionada também solução de AIB na concentração de 2000 mg/L.

2.4. Obtenção, preparo, estaqueamento e enraizamento das miniestacas

As miniestacas foram obtidas no minijardim clonal e armazenadas em caixas de isopor de 5 litros com aproximadamente 1/3 de seu volume preenchido com água resfriada (em torno de 10 °C), onde os propágulos estavam submersos e as caixas mantidas fechadas. O tempo máximo de armazenamento até o estaqueamento não superou 10 minutos e as dimensões adotadas para as miniestacas foram de 8 a 12 cm. A aplicação de cada reagente foi por submersão das bases das miniestacas por 15 segundos nas soluções preparadas de cada

substância proposta antes do estaqueamento. Na avaliação de cofatores, as miniestacas também tiveram suas bases submersas inicialmente por 15 segundos na solução de AIB (2000 mg/L) e depois submersas na solução de cofatores de acordo com a concentração e substância proposta.

As miniestacas foram então estaqueadas em tubetes plásticos com 55 cm³, previamente preenchidos com substrato comercial Carolina Soil, classe LXXVI, composto por turfa, vermiculita e casca de arroz carbonizada. A nutrição de base do substrato foi realizada com 6 kg/m³ de superfosfato simples e 3 kg/m³ de fertilizante mineral misto Osmocote® Plus 15-9-12.

As miniestacas foram acomodadas em casa de vegetação climatizada para enraizamento. A estrutura possui sistema automático de irrigação do tipo nevoeiro intermitente, com umidade relativa do ar maior que 80% e temperatura entre 20 e 35 °C, onde os propágulos permaneceram por 30 dias. Após esse período foram transferidos para casa de sombra por 10 dias para aclimação.

Foram realizados experimentos individualizados para cada antioxidante e cofator, com delineamento experimental em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, onde os fatores foram quatro concentrações de cada substância (antioxidantes e cofatores) e três genótipos distintos, dois clones híbridos de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* (C1 e C2) e um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (E1), em oito blocos com 10 miniestacas por repetição.

2.5. Análises Foliares

Foram realizadas avaliações foliares nas miniestacas utilizando o analisador de folhas Force-A Dualex® aos 6 dias após o estaqueamento. O aparelho especificado realiza medições de teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e índice de flavonóis de forma não-destrutiva para obter informações nutricionais e do estado fisiológico das plantas. O sensor óptico do instrumento através da absorbância do espectro ultravioleta na epiderme da folha por fluorescência da clorofila, permite leituras dos referidos índices dentro da casa de vegetação de forma rápida e sem prejudicar o enraizamento das miniestacas.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, onde os fatores foram as 4 concentrações de cada substância, em quatro blocos de 5 miniestacas aleatórias dentro de cada bloco do experimento de enraizamento.

2.6. Avaliações experimentais

Foram avaliados sobrevivência e enraizamento das miniestacas após saída da casa de vegetação (30 dias após estaqueamento) e sobrevivência e enraizamento após saída da casa de sombra (40 dias após estaqueamento). A avaliação de sobrevivência foi realizada de forma visual, e as miniestacas consideradas vivas eram aquelas que apresentavam turgescência, caule e folhas verdes e com no mínimo um par de folhas. As miniestacas consideradas enraizadas foram aquelas onde era possível observar raízes na extremidade inferior do tubete.

Foram avaliados também teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e flavonóis nas folhas das miniestacas aos 6 dias após estaqueamento utilizando o analisador de folhas Dualex®, de forma não destrutiva.

Os dados coletados foram compilados no *software* Microsoft Excel e submetidos à regressão linear e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) no *software* SigmaPlot.

3. RESULTADOS

3.1. Aplicação de antioxidantes

3.1.1. Enraizamento e sobrevivência

Os coeficientes de determinação R^2 da regressão linear com a aplicação de doses de antioxidantes no enraizamento e sobrevivência foram analisados em casa de vegetação (30 dias) e em casa de sombra (40 dias) para os clones E1, C1 e C2 (Tabela 1). A aplicação de ácido ascórbico apresentou efeito significativo para a sobrevivência aos 30 dias somente para o clone C2, e a aplicação de PVP apresentou significância para o enraizamento aos 40 dias somente para o clone E1. No entanto, a aplicação de ácido ascórbico, carvão ativado e PVP em miniestacas dos clones E1, C1 e C2 não apresentaram efeito significativo no enraizamento aos 30 dias (saída da casa de vegetação) e sobrevivência aos 40 dias (saída da casa de sombra).

3.1.2. Avaliações foliares

Os coeficientes de determinação da regressão linear para o teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e teor de flavonóis foram analisados para os clones E1, C1 e C2 em função da aplicação dos antioxidantes ácido ascórbico, carvão ativado e PVP (Tabela 2). A aplicação de ácido ascórbico teve efeito significativo no teor de flavonóis dos clones C1 e C2. Enquanto a aplicação de PVP apresentou efeito significativo no NBI de miniestacas do

clone E1. A aplicação de carvão ativado não apresentou efeito significativo para nenhum dos clones avaliados.

Tabela 1: Significância e coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear para enraizamento e sobrevivência na casa de vegetação (30 dias após estaqueamento) e casa de sombra (40 dias após estaqueamento) em função da aplicação de antioxidantes para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

Parâmetro	Antioxidante	E1	C1	C2
Enraizamento C.V. (30 dias)	Ácido ascórbico	ns	ns	ns
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	ns	ns	ns
Sobrevivência C.V. (30 dias)	Ácido ascórbico	ns	ns	0,1564*
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	ns	ns	ns
Enraizamento C.S. (40 dias)	Ácido ascórbico	ns	ns	ns
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	0,1445*	ns	ns
Sobrevivência C.S. (40 dias)	Ácido ascórbico	ns	ns	ns
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	ns	ns	ns

Obs.: “ns”: não significativo; (*): nível de 5% de significância;

Tabela 2: Significância e coeficientes de determinação (R^2) da regressão, para teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e teor de flavonóis em casa de vegetação (6 dias após estaqueamento) em função da aplicação de antioxidantes para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

Parâmetro	Antioxidante	E1	C1	C2
Clorofila	Ácido ascórbico	ns	ns	ns
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	0,1484**	ns	0,1186*
NBI	Ácido ascórbico	ns	ns	ns
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	0,1264*	ns	ns
Flavonóis	Ácido ascórbico	ns	0,0996*	0,1507**
	Carvão ativado	ns	ns	ns
	PVP	ns	ns	ns

Obs.: “ns”: não significativo; (*) e (**): nível de 5% e 1% de significância, respectivamente;

3.2. Aplicação de cofatores

3.2.1. Enraizamento e sobrevivência

Os coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear foram analisados para o enraizamento na saída da casa de vegetação (30 dias), sobrevivência na saída da casa de vegetação (30 dias), enraizamento na saída da casa de sombra (40 dias) e sobrevivência na saída da casa de sombra (40 dias) em função da aplicação dos cofatores ácido cafeico, prolina e triptofano (em conjunto com a aplicação de AIB 2000 mg/L) para os clones E1, C1 e C2 (Tabela 3). A aplicação de ácido cafeico teve efeito significativo no enraizamento aos 30 dias (casa de vegetação) e aos 40 dias (casa de sombra) no clone C2 e na sobrevivência aos 40 dias no clone C1. A aplicação de prolina teve efeito significativo no enraizamento aos 40 dias do clone C1. E a aplicação de triptofano teve efeito significativo apenas no enraizamento aos 40 dias do clone C2. Nenhum dos cofatores aplicados apresentou efeito significativo na sobrevivência aos 30 dias para os clones avaliados.

Tabela 3: Significância e coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear para enraizamento e sobrevivência na casa de vegetação (30 dias após estaqueamento) e casa de sombra (40 dias após estaqueamento) em função da aplicação de cofatores (com aplicação de AIB) para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

Parâmetro	Cofator	E1	C1	C2
Enraizamento C.V. (30 dias)	Ácido cafeico	ns	ns	0,1729*
	Prolina	ns	ns	ns
	Triptofano	ns	ns	0,2897***
Sobrevivência C.V. (30 dias)	Ácido cafeico	ns	ns	ns
	Prolina	ns	ns	ns
	Triptofano	ns	ns	ns
Enraizamento C.S. (40 dias)	Ácido cafeico	ns	ns	0,1716*
	Prolina	ns	0,1534*	ns
	Triptofano	ns	ns	0,2152**
Sobrevivência C.S. (40 dias)	Ácido cafeico	ns	0,1243*	ns
	Prolina	ns	ns	ns
	Triptofano	ns	ns	ns

Obs.: “ns”: não significativo; (*), (**) e (***) : nível de 5%, 1% e 0,01% de significância, respectivamente.

3.2.2. Avaliações foliares

Os coeficientes de determinação e significância da regressão linear dos parâmetros avaliados nas folhas das miniestacas (teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio e teor de flavonóis) foram analisados em função da aplicação de cofatores em conjunto com solução de AIB (2000 mg/L) para os clones E1, C1 e C2 (Tabela 4). A aplicação de triptofano teve efeito significativo no teor de clorofila para o clone E1 e no teor de flavonóis para o clone C1. A aplicação de prolina apresentou efeito significativo no teor de flavonóis do clone E1. Não foi observado resultado significativo com a aplicação de cofatores nos teores de clorofila, NBI e flavonóis para o clone C2, assim como não foi observado efeito significativo no NBI com a aplicação de cofatores para os clones E1 e C2.

Tabela 4: Significância e coeficientes de determinação (R^2) da regressão linear para teor de clorofila, índice de balanço de nitrogênio (NBI) e teor de flavonóis em casa de vegetação (6 dias após estaqueamento) em função da aplicação de cofatores (com aplicação de AIB) para os clones E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*), C1 e C2 (*Corymbia citriodora* x *C. torelliana*).

Parâmetro	Cofator	E1	C1	C2
Clorofila	Ácido cafeico	ns	ns	ns
	Prolina	ns	ns	ns
	Triptofano	0,0907**	ns	ns
NBI	Ácido cafeico	ns	ns	ns
	Prolina	ns	ns	ns
	Triptofano	ns	ns	ns
Flavonóis	Ácido cafeico	ns	ns	ns
	Prolina	0,1146***	ns	ns
	Triptofano	ns	0,0431*	ns

Obs.: “ns”: não significativo; (*), (**) e (***): nível de 5%, 1% e 0,01% de significância, respectivamente.

4. DISCUSSÃO

4.1. Aplicação de antioxidantes

Os resultados obtidos a partir das regressões lineares indicam que a aplicação de antioxidantes, como ácido ascórbico, carvão ativado e PVP, apresentou efeitos específicos e limitados no enraizamento e na sobrevivência das miniestacas dos clones E1, C1 e C2. A aplicação de ácido ascórbico teve um efeito significativo na sobrevivência do clone C2 aos 30 dias, e o PVP apresentou significância no enraizamento do clone E1 aos 40 dias. Esse

comportamento pode ser explicado pelo papel do ácido ascórbico como um antioxidante eficaz na neutralização das espécies reativas de oxigênio (ERO), que são produzidas durante o estresse oxidativo induzido pelo estaqueamento (GOULART et al., 2010; LIANG et al., 2022). No entanto, a ausência de efeitos significativos em outros clones ou em diferentes estágios de avaliação pode estar relacionada à complexidade das interações fisiológicas e bioquímicas envolvidas. A eficácia dos antioxidantes pode ser altamente dependente do genótipo e das condições experimentais específicas (GOULART, 2006).

As análises foliares revelaram que a aplicação de ácido ascórbico influenciou significativamente o teor de flavonóis nos clones C1 e C2, enquanto o PVP afetou o índice de balanço de nitrogênio (NBI) nas miniestacas do clone E1. O papel dos flavonóis como antioxidantes naturais nas plantas pode explicar parte desses resultados, já que esses compostos ajudam a proteger as células vegetais contra o estresse oxidativo, o que pode ser particularmente relevante em clones que apresentam maior suscetibilidade a esse tipo de estresse (KÜPPER et al., 2007, VICENTE & BOSCAIU, 2018).

No contexto dos resultados obtidos, é possível que os efeitos observados dos antioxidantes nos diferentes clones estejam ligados a mecanismos de regulação antioxidante específicos de cada genótipo. Por exemplo, em um estudo sobre a resposta ao estresse de alumínio em *Eucalyptus* (LIANG et al., 2022), foi observado que *E. urophylla* apresentou maior resistência ao estresse oxidativo em comparação com outras espécies, o que pode ser atribuído à maior atividade enzimática antioxidante e ao conteúdo de antioxidantes não enzimáticos. Essa diferença pode refletir a variação na resposta ao tratamento com antioxidantes observada nos diferentes clones do presente estudo. Vilasboa et al. (2021) também observou diferenças na remoção de ERO ao comparar o perfil oxidativo no processo de miniestaquia nas espécies *E. globulus* e *E. grandis*.

A ausência de efeitos significativos com a aplicação de carvão ativado, sugere que nem todos os compostos antioxidantes são igualmente eficazes em influenciar as características foliares ou o sucesso do enraizamento em condições de miniestaquia. Estudos indicam que a resposta das plantas a antioxidantes pode variar amplamente dependendo da concentração de antioxidantes aplicados e da espécie vegetal envolvida (BHOOOMIKA et al., 2013, VERDE et al., 2021, SILVA, 2022). Isso sugere que a otimização das doses de antioxidantes é essencial para alcançar os melhores resultados em termos de enraizamento e sobrevivência.

4.2. Aplicação de cofatores

Os resultados obtidos a partir das regressões lineares indicam que a aplicação de cofatores, como ácido cafeico, prolina e triptofano, apresentaram efeitos distintos sobre o enraizamento, a sobrevivência e os teores de clorofila, NBI e flavonóis dos clones E1, C1 e C2. A análise dos dados mostrou que o ácido cafeico teve um efeito significativo no enraizamento das miniestacas do clone C2, tanto aos 30 dias (casa de vegetação) quanto aos 40 dias (casa de sombra). O ácido cafeico é conhecido por sua capacidade de influenciar processos fisiológicos que promovem a formação de raízes adventícias, o que pode explicar o aumento do enraizamento observado no clone C2 (SHANG et al., 2017; DENAXA et al., 2022; LIANG et al., 2022).

A prolina, por outro lado, teve um efeito significativo no enraizamento aos 40 dias apenas no clone C1. Além de seu papel como osmorregulador e antioxidante (BARCELOS, 2022; RAZA et al., 2023), a prolina desempenha funções críticas no metabolismo celular e no desenvolvimento das plantas. Ela está associada a tecidos que passam por rápida divisão celular, como as raízes adventícias (DE KLERK et al., 1999; GEISS et al., 2009; LEHMANN et al., 2010). Esse efeito da prolina no enraizamento do clone C1 pode ser explicado pela sua função em estabilizar estruturas celulares e auxiliar no desenvolvimento de tecidos em condições adversas (ZHANG et al., 2022; AL-YASI et al., 2020; TURNER, 2018). Resultados semelhantes foram observados por Goulart et al. (2011), que destacaram o papel da prolina no enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus*, sugerindo uma resposta genotípica específica a este cofator.

O triptofano mostrou um efeito significativo no enraizamento apenas no clone C2, aos 40 dias. Como precursor da auxina ácido indol-3-acético (AIA), o triptofano pode ter facilitado o desenvolvimento radicular ao aumentar a concentração de auxinas, hormônios que desempenham um papel crucial na rizogênese (WOODWARD & BARTEL, 2005; BERGONCI & PAPONOV, 2022). Estudos recentes demonstram que o triptofano pode ser um dos principais fatores para aumentar a formação de raízes adventícias em plantas recalcitrantes, devido à sua conversão em AIA e sua participação em diferentes vias de biossíntese da auxina (ABIRI et al., 2020; ROTH et al., 2023). A resposta variável ao triptofano entre os clones sugere que o efeito deste cofator é altamente dependente das características genotípicas e das condições ambientais, especialmente em espécies que possuem dificuldades para formar raízes adventícias, como é o caso de espécies de *Corymbia*.

Além dos efeitos no enraizamento e na sobrevivência, as análises foliares indicaram que o triptofano influenciou significativamente o teor de clorofila no clone E1 e o teor de flavonóis no clone C1. Esses resultados indicam que o triptofano pode ter efeitos além da promoção do enraizamento, impactando também o metabolismo foliar e a produção de compostos associados à saúde e funcionalidade das folhas (KÜPPER et al., 2007).

A prolina, por sua vez, apresentou um efeito significativo no teor de flavonóis no clone E1, sugerindo que sua aplicação pode contribuir para a regulação de processos metabólicos nas folhas, mesmo que seu impacto no enraizamento tenha sido mais restrito (TAIZ et al., 2022).

No entanto, nenhum dos cofatores aplicados apresentou efeito significativo na sobrevivência aos 30 dias para os clones avaliados, o que pode indicar que os benefícios desses compostos são mais evidentes em fases posteriores do desenvolvimento ou em respostas específicas de determinados clones. Além disso, a ausência de efeitos significativos nos teores de clorofila, NBI e flavonóis no clone C2 sugere uma menor sensibilidade deste clone às intervenções com esses cofatores.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de antioxidantes afetou o enraizamento e a sobrevivência de miniestacas de *Eucalyptus* e *Corymbia* de maneira limitada e específica para alguns clones. Da mesma forma, a aplicação de cofatores teve efeitos variáveis dependendo do clone e do parâmetro avaliado (enraizamento ou sobrevivência das miniestacas). Esses resultados sugerem que tanto antioxidantes quanto cofatores podem influenciar os processos de enraizamento e sobrevivência, mas sua eficácia é dependente do material genético e das condições experimentais específicas.

Mais estudos são necessários para adotar a utilização de antioxidantes e cofatores na propagação clonal por miniestaquia de *Eucalyptus* e *Corymbia*. É fundamental explorar uma maior variedade de concentrações e combinações de antioxidantes e cofatores, bem como incluir na avaliação outros fatores ambientais que possam influenciar os resultados. A compreensão detalhada dessas variáveis permitirá otimizar as condições de propagação, assegurando uma maior eficácia e consistência no enraizamento e na sobrevivência das miniestacas.

6. BIBLIOGRAFIA

- ABIRI, Rambod et al. The prospect of physiological events associated with the micropropagation of *Eucalyptus* sp. **Forests**, v. 11, n. 11, p. 1211, 2020.
- AL-YASI, Hatim et al. Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 150, p. 133-139, 2020.
- BARCELOS, Gabriel Ferreira. **Efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura de soja**. Orientador: Durval Dourado Neto. 2022. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Fitotecnia) – USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2022.
- BATISTA, Diego Silva et al. Light quality in plant tissue culture: does it matter?. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v.54, p.195-215, 2018.
- BERGONCI, Tábata; PAPONOV, Ivan Alekseevic. Amino acid treatments induce adventitious root formation in two different genotypes of *Campanula portenschlagiana*. In: **Biology and Life Sciences Forum**. v. 16, n. 1, p. 8, 2022.
- BHOOMIKA, Kumari; PYNGROPE, Samantha; DUBEY, Rama Shanker. Differential responses of antioxidant enzymes to aluminum toxicity in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with marked presence and elevated activity of Fe SOD and enhanced activities of Mn SOD and catalase in aluminum tolerant cultivar. **Plant growth regulation**, v. 71, p. 235-252, 2013.
- BORGES, Silvano Rodrigues et al. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 425-434, 2011.
- DE ALMEIDA, Marcia Rodrigues et al. Environmental control of adventitious rooting in *Eucalyptus* and *Populus* cuttings. **Trees**, v. 31, p. 1377-1390, 2017.
- DE KLERK, Geert-Jan; VAN DER KRIEKEN, Wim; DE JONG, Joke. Review the formation of adventitious roots: new concepts, new possibilities. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 35, p. 189-199, 1999.
- DENAXA, Nikoleta-Kleio; TSAFOUROS, Athanasios; ROUSSOS, Petros Anargyrou. Role of phenolic compounds in adventitious root formation. In: **Environmental, Physiological and Chemical Controls of Adventitious Rooting in Cuttings**. Academic Press, p. 251-288, 2022.
- GEISS, Gaia; GUTIERREZ, Laurent; BELLINI, Catherine. Adventitious root formation: new insights and perspectives. **Annual plant reviews volume 37: root development**, v. 37, p. 127-156, 2009.

GOULART, Patrícia Bueno. **Influência do acondicionamento, antioxidantes, auxinas e seus cofatores no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Orientador: Aloisio Xavier. 2006. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

GOULART, Patrícia Bueno; XAVIER, Aloisio; DIAS, José Maria Moreira. Efeito de antioxidantes no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v.34, p.961-972, 2010.

GOULART, Patrícia Bueno; XAVIER, Aloisio; DIAS, José Maria Moreira. Efeito dos cofatores hidroquinona, prolina e triptofano no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1017-1026, 2011.

GRIEBELER, Adriana Maria et al. Influence of mini-tunnel and different rooting environments on the production of rooted mini-cuttings of subtropical *Eucalyptus*. **New Forests**, v. 55, n. 3, p. 459-476, 2024.

HARTMANN, Hudson Thomas et al. **Hartmann & Kester's Plant Propagation: Principles and Practices**. 9. ed. New Jersey: Pearson, 2017. 1024 p.

HIGASHI, Edson Namita; SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda; GONÇALVES, Antônio Natal. Monitoramento nutricional e fertilização em macro, mini e microjardim clonal de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; BENEDETTI, Vanderlei. **Nutrição e fertilização florestal**. IPEF, Piracicaba, cap. 7, p.191-217, 2000.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas** – Período: 1991 a 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 05 set. 2024.

KONZEN, Enéas Ricardo; BERGONCI, Tábata; BRONDANI, Gilvano Ebling. Produção de mudas por propagação vegetativa. In: ARAÚJO, Maristela Machado; NAVROSKI, Marcio Carlos; SCHORN, Lauri Amândio. **Produção de sementes florestais: um enfoque a silvicultura**. 1. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2018. p. 448.

KÜPPER, Hendrik et al. Cadmium-induced inhibition of photosynthesis and long-term acclimation to cadmium stress in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **New Phytologist**, v. 175, n. 4, p. 655-674, 2007.

LEHMANN, Silke et al. Proline metabolism and transport in plant development. **Amino acids**, v. 39, p. 949-962, 2010.

LIANG, Yanhong et al. Different antioxidant regulation mechanisms in response to aluminum-induced oxidative stress in *Eucalyptus* species. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 241, p. 113748, 2022.

MILLER, Gad et al. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, cell & environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.

PERES, Letícia Costa et al. Clonal selection of *Corymbia* for energy and charcoal production. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 3, p. 749-753, 2019.

RAZA, Ali et al. Assessment of proline function in higher plants under extreme temperatures. **Plant Biology**, v. 25, n. 3, p. 379-395, 2023.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2013.

ROTH, Ohad et al. Slow release of a synthetic auxin induces formation of adventitious roots in recalcitrant woody plants. **Nature Biotechnology**, p. 1-12, 2024.

SARR, Diégane et al. Photodegradation kinetics of some indolecarboxylic acids and their regulation effects on plant growth (groundnut and haricot bean). **Talanta**, v. 60, n. 2-3, p. 571-579, 2003.

SHARMA, Vikas et al. A Comprehensive Review Uncovering the Challenges and Advancements in the In Vitro Propagation of *Eucalyptus* Plantations. **Plants**, v.12, art.3018, 2023.

SHANG, Wenqian et al. Research on the relationship between phenolic acids and rooting of tree peony (*Paeonia suffruticosa*) plantlets *in vitro*. **Scientia Horticulturae**, v.224, p.53-60, 2017.

SILVA, Leonardo Maximo. **Antioxidantes e balanço hormonal no cultivo *in vitro* de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.** Orientador: Leandro Silva de Oliveira. 2022. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, 2022.

TAIZ, Lincoln et al. **Plant Physiology and Development**. 7. ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2022. 864 p.

TSAFOUROS, Athanasios; ROUSSOS, Peter Anargyrou. Dopamine, chlorogenic acid, and quinones as possible cofactors of increasing adventitious rooting potential of *in vitro* Krymsk 5 cherry rootstock explants. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1154, 2022.

TURNER, Neil. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of experimental botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

VERDE, Denise dos Santos Vila et al. Ácido ascórbico e polivinilpirrolidona no cultivo *in vitro* de *Dioscorea* spp. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, 2021.

VICENTE, Oscar; BOSCAIU, Monica. Flavonoids: Antioxidant compounds for plant defence... and for a healthy human diet. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 46, n. 1, p. 14-21, 2018.

VILASBOA, Johnatan; DA COSTA, Cibele Tesser, FETT-NETO, Arthur Germano. Rooting of eucalypt cuttings as a problem-solving oriented model in plant biology. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v.146, p.85-97, 2019.

VILASBOA, Johnatan et al. Microcutting Redox Profile and Anatomy in *Eucalyptus* spp. With Distinct Adventitious Rooting Competence. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, art. 620832, 2021.

WOODWARD, Andrew; BARTEL, Bonnie. Auxin: regulation, action, and interaction. **Annals of botany**, v. 95, n. 5, p. 707-735, 2005.

ZHANG, Xianbo; YANG, Hui; DU, Taisheng. Osmotic adjustment of tomato under mild soil salinity can enhance drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 202, art. 105004, 2022.

3. CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos objetivos proposto no presente trabalho, no qual foram avaliadas a influência do padrão foliar e da aplicação de antioxidantes e de cofatores no enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, pôde-se concluir que:

- 1) Os resultados obtidos evidenciam a complexidade dos fatores que influenciam o enraizamento e a sobrevivência de miniestacas de *Eucalyptus* e *Corymbia*. A presença de pares de folhas nos propágulos, aliada a teor relativo de água e estado nutricional foliar adequados, foram importantes para o sucesso do enraizamento, com o clone E1 (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) apresentando os melhores resultados em miniestacas com dois pares de folhas. De modo geral, o teor relativo de água acima de 90% esteve associado a maiores taxas de enraizamento e sobrevivência das miniestacas.
- 2) Embora o conteúdo foliar seja um fator importante, aspectos genéticos também desempenham um papel crucial na formação de primórdios radiculares. A aplicação de antioxidantes e cofatores, apesar de mostrar efeitos limitados e específicos a certos clones, sugere que esses compostos podem influenciar o enraizamento e a sobrevivência das miniestacas de forma dependente do material genético e das condições experimentais. Esses resultados indicam a necessidade de estudos adicionais para otimizar o uso de antioxidantes e cofatores na propagação clonal por miniestaquia, explorando diferentes concentrações, combinações e fatores ambientais que possam impactar os resultados.