

FATORES DETERMINANTES NO ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE ESTACAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430108>

Data de aceite: 19/11/2024

Luanna Carmem Barros Souza

Hendrick da Costa de Souza

<http://lattes.cnpq.br/9928895385474818>

Irmfried Henrique Papke

Gabriel Pereira dos Santos

Diego Duarte da Silveira

Genison Antonio Pizzi

Rafael Antonio Pasini

RESUMO: O enraizamento adventício de estacas é um dos principais métodos utilizados para a propagação vegetativa de espécies florestais, sendo fundamental tanto para a produção comercial de mudas quanto para a conservação de espécies nativas. Este processo, embora essencial, é altamente complexo e multifatorial, dependendo de uma série de interações entre fatores internos (hormonais e nutricionais) e externos (condições ambientais e práticas de manejo). A literatura científica sobre o tema revela que a capacidade de enraizamento das estacas pode variar significativamente entre as espécies, dependendo de suas

características biológicas e dos protocolos adotados. Esta revisão tem como objetivo proporcionar uma compreensão detalhada sobre os principais fatores que influenciam o enraizamento adventício em estacas de espécies florestais. São abordados aspectos como a fisiologia do enraizamento, o impacto da temperatura, luz, umidade e a qualidade do substrato, bem como a influência das características genéticas e morfológicas da planta-mãe.

PALAVRAS-CHAVE: enraizamento adventício, propagação vegetativa, hormônios vegetais, fatores ambientais, tecnologias de enraizamento, espécies florestais.

INTRODUÇÃO

O cultivo de florestas comerciais é essencial para o fornecimento de madeira e de produtos florestais não madeireiros, atendendo a várias demandas da sociedade (SOUZA et al., 2023). No Brasil, a área aproximada de florestas plantadas é de 9,94 milhões de hectares, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste, sendo 76,0% dessa área composta por cultivos do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2023).

A propagação vegetativa por meio de estacas é um método amplamente utilizado para a multiplicação de plantas, incluindo diversas espécies florestais de importância econômica e ecológica. Estacas são fragmentos de tecidos vegetais que, ao serem adequadamente tratadas, podem originar novos indivíduos, com as mesmas características genéticas da planta-mãe (HARTMANN et al., 2014). O sucesso desse processo depende de uma série de fatores que influenciam diretamente a capacidade de desenvolvimento radicial (ALFENAS et al., 2009). Esses fatores são classificados em internos, como os hormonais e metabólicos, e externos, como as condições ambientais e de cultivo (TREVISAN et al., 2023; XAVIER et al., 2013). Embora o enraizamento adventício seja um processo natural em muitas plantas, ele pode ser otimizado para espécies florestais através do manejo adequado e da compreensão dos fatores fisiológicos e ambientais.

Este trabalho visa oferecer uma visão abrangente e aprofundada dos fatores que determinam o sucesso do enraizamento adventício em estacas florestais, incorporando dados de pesquisas sobre a biologia do processo e os avanços tecnológicos empregados para melhorar a propagação clonal em várias espécies florestais.

FATORES FISIOLÓGICOS NO ENRAIZAMENTO

Hormônios Vegetais

Os hormônios vegetais, também conhecidos como fitormônios, são substâncias químicas que desempenham papel fundamental no controle de vários processos fisiológicos das plantas, incluindo o enraizamento adventício (TAIZ; ZEIGER, 2017). As auxinas, especialmente o ácido indolacético (AIA) e o ácido indolbutírico (AIB), têm sido amplamente estudadas e aplicadas para estimular o enraizamento. Estas auxinas são responsáveis por promover a divisão celular, alongamento e diferenciação dos tecidos radiculares nas estacas (BRONDANI et al., 2014). Quando aplicadas exogenamente, as auxinas podem aumentar a taxa de enraizamento de espécies que, naturalmente, apresentam dificuldades nesse processo, como ocorre com algumas espécies de coníferas e árvores de folha perene (HARTMANN et al., 2014).

Além das auxinas, outras classes de fitormônios, como as citocininas e as giberelinas, também influenciam o enraizamento, mas de forma mais complexa. As citocininas, por exemplo, têm o potencial de inibir a formação de raízes em concentrações altas, mas podem auxiliar na formação de brotos e folhas, o que contribui para o aumento da fotossíntese e, conseqüentemente, para a maior disponibilidade de carboidratos, essenciais para o enraizamento (RASMUSSEN et al., 2015). Já as giberelinas tendem a ser mais associadas ao crescimento de caules e folhas, podendo ter impacto negativo no enraizamento (ASSIS; TEIXEIRA, 1998).

Carboidratos e Metabolismo Energético

O enraizamento adventício é um processo que exige grande quantidade de energia, e os carboidratos são a principal fonte dessa energia. As estacas, para serem bem-sucedidas no enraizamento, precisam ter reservas suficientes de carboidratos, principalmente amido e sacarose, que são metabolizados para fornecer a energia necessária à formação de raízes (DRUEGE et al., 2000). Durante o processo de enraizamento, as estacas convertem esses carboidratos em ácidos graxos, aminoácidos e outros compostos necessários para o crescimento das raízes. O acúmulo e a disponibilidade de carboidratos são, portanto, essenciais, e a deficiência de nutrientes pode reduzir o sucesso do enraizamento (HAISSIG, 1982).

Além disso, o suprimento adequado de macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, e micronutrientes, como zinco, cobre e manganês, também desempenha um papel importante (PEREIRA; PERES, 2016). O cálcio, em particular, é fundamental para a estabilidade estrutural das células e das paredes celulares das raízes (BELLAMINE et al., 1998). A interação entre o suprimento de nutrientes e o metabolismo de carboidratos é uma chave para o enraizamento bem-sucedido, e é fundamental para o desenvolvimento das raízes adventícias.

FATORES AMBIENTAIS NO ENRAIZAMENTO

Temperatura

A temperatura é uma das variáveis ambientais mais importantes que afeta o enraizamento de estacas florestais. Em geral, temperaturas entre 20°C e 30°C são consideradas ideais para a maioria das espécies florestais, uma vez que favorecem a atividade enzimática e o transporte de nutrientes para as estacas (WILSON, 1998). Temperaturas mais altas podem acelerar o metabolismo das células, mas também aumentam o risco de desidratação, o que prejudica o enraizamento. Em contrapartida, temperaturas abaixo de 15°C podem inibir a atividade celular e retardar ou até impedir o desenvolvimento das raízes (FACHINELLO et al., 2005).

A variação de temperatura ao longo do dia e a influência das estações também desempenham um papel importante. Por exemplo, estacas de espécies tropicais, como o eucalipto, podem ter um comportamento diferente em comparação com estacas de espécies temperadas, como o pinus. Algumas espécies exigem variações térmicas para estimular o enraizamento, enquanto outras podem ser mais sensíveis a flutuações rápidas de temperatura (HARTMANN et al., 2014).

Luz e Fotoperíodo

A luz tem um impacto significativo no enraizamento devido à sua influência na fotossíntese e na produção de fitormônios, especialmente as auxinas. A intensidade e a qualidade da luz podem afetar diretamente o crescimento das estacas e o desenvolvimento das raízes (BASKIN; BASKIN, 2014). Além disso, a duração da exposição à luz, ou o fotoperíodo, também é importante. Estacas expostas a fotoperíodos longos geralmente têm um maior suprimento de carboidratos devido ao aumento da fotossíntese, o que pode resultar em um enraizamento mais eficaz (HARTMANN et al., 2014).

Umidade e Aeração do Substrato

A umidade é essencial para o enraizamento, pois as estacas necessitam de água para evitar o dessecamento e para facilitar a absorção de nutrientes (WENDLING; DUTRA, 2010). No entanto, o excesso de umidade pode levar à falta de oxigênio no substrato, promovendo condições anaeróbicas que prejudicam o desenvolvimento das raízes (ALFENAS et al., 2009). O controle adequado da umidade, juntamente com uma boa aeração do substrato, é, portanto, essencial para evitar a asfixia das estacas e promover o desenvolvimento de raízes vigorosas (XAVIER et al., 2013).

FATORES INTRÍNSECOS DA ESTACA

Idade e Estado Fisiológico da Planta-Mãe

A idade da planta-mãe desempenha um papel crítico no sucesso do enraizamento das estacas. Estacas retiradas de plantas jovens, especialmente aquelas em fase vegetativa, geralmente apresentam maior capacidade de enraizar devido à maior concentração de auxinas e menor lignificação dos tecidos (WENDLING; XAVIER, 2001). Por outro lado, estacas retiradas de plantas maduras ou de fases reprodutivas podem ter taxas de enraizamento mais baixas devido ao aumento da lignificação e à diminuição da produção de hormônios de enraizamento (FACHINELLO et al., 2005).

Posição da Estaca e Diâmetro

A posição da estaca na planta-mãe também é um fator importante. Estacas retiradas de ramos basais ou de brotações recentes geralmente têm maior capacidade de enraizar, devido a uma maior quantidade de hormônios vegetais e menor grau de lignificação (WENDLING; XAVIER, 2001). O diâmetro da estaca também pode afetar o enraizamento, com estacas mais finas geralmente apresentando maior facilidade para desenvolver raízes devido à menor resistência ao fluxo de água e nutrientes (RASMUSSEN et al., 2015).

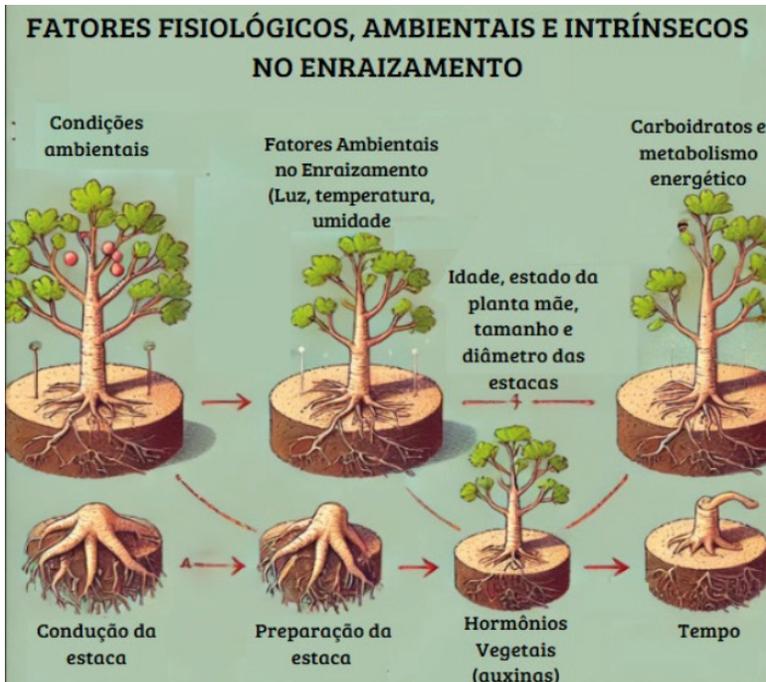


Figura 1: Representação ilustrativa dos fatores determinantes do enraizamento

Fonte: Autores/IA/2024.

CONCLUSÃO

O enraizamento adventício é um processo complexo e multifatorial, que depende de uma interação entre características fisiológicas da planta-mãe, fatores hormonais, condições ambientais e práticas de manejo. O sucesso da propagação vegetativa em estacas florestais pode ser significativamente aumentado com o controle adequado de fatores como temperatura, umidade, luz, nutrição e aplicação de hormônios. À medida que a pesquisa avança, novas tecnologias e protocolos adaptativos têm sido desenvolvidos, oferecendo soluções para aumentar as taxas de enraizamento em espécies florestais de difícil propagação. A compreensão profunda desses fatores e suas interações é fundamental para otimizar a propagação clonal e garantir o sucesso de projetos de reflorestamento comerciais e de conservação de espécies nativas.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 500.
- ASSIS, T. F.; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de plantas lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CNPq, 1998.

- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2014.
- BELLAMINE, J. et al. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. **Plant Growth Regulation**, v. 26, p. 191-194, 1998.
- BRONDANI, G. E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.
- DRUEGE, U. et al. Relation between nitrogen status, carbohydrate distribution and subsequent rooting of chrysanthemum cuttings as affected by pre-harvest nitrogen supply and cold-storage. **Annals of Botany**, v. 85, n. 5, p. 687-701, 2000.
- FACHINELLO, J. C. et al. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: 1, 2005. p. 221.
- HAISSIG, B. E. Carbohydrate and amino acid concentration during adventitious root primordium development in *Pinus banksiana* Lamb. cutting. **Forestry Science**, v. 28, p. 815-821, 1982.
- HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 9. ed. Pearson Education Limited, 2014. p. 927.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório anual 2023. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 12 out. 2024.
- PEREIRA, F. B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016.
- RASMUSSEN, A. et al. Adventitious rooting declines with the vegetative to reproductive transition and involves a changed auxin homeostasis. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 5, p. 1437-1452, 2015.
- SOUZA, H. C. et al. Resgate vegetativo de árvores de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. **Série Técnica IPEF**, v. 26, n. 48, p. 1-12, mai. 2023. DOI: 10.18671/sertec.v26n48.015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TREVISAN, P. L. et al. **Efeito da pulverização foliar de AIB e bioestimulante na propagação vegetativa de híbrido de *Corymbia***. In: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (SEPE 2023), 2023, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Franciscana, 2023. DOI: 10.48195/sepe2023.27477.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 184.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado em espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 187-194, 2001.
- WILSON, P. J. Environmental preferences of *Eucalyptus globulus* stem cuttings in one nursery. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 28, n. 3, p. 304-315, 1998.
- XAVIER, A. et al. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 272 p.