

---

## MACROPROPAGACAO VEGETATIVA EM CONIFERAS - PERSPECTIVAS BIOLÓGICAS E OPERACIONAIS

---

**UBIRAJARA CONTRO MALAVASI**  
Phd, Prof. Adjunto, DCA - IF - UFRRJ

### INTRODUÇÃO

Cêrca de 65 milhões de mudas de coníferas são produzidas via propagação vegetativa anualmente em todo o mundo (Ritchie 1991, Talbert et alli 1992). Os resultados obtidos em laboratórios estão na frente daqueles resultados esperados e previstos anteriormente. O uso econômico da propagação vegetativa é justificável quando o suprimento de genótipos de alta produtividade e/ou sementes são insumos limitados (Ritchie et alli 1992). Nestas situações, um programa utilizando estacas enraizadas pode distribuir com maior eficiência e rapidez os resultados dos programas de melhoramento genético, reduzindo os custos finais dos mesmos.

A propagação vegetativa, comumente denominada de macropropagação, é uma antiga técnica conhecida da SILVICULTURA. A habilidade de alcançar ganhos máximos em crescimento (i.e. produtividade) pode depender

da propagação vegetativa como um método de regeneração florestal. Necessário se faz enfatizar que a propagação vegetativa não é um método de cruzamento, mas uma técnica capaz de reproduzir em massa um ou mais genótipos. A captura das variâncias genéticas aditivas, e não-aditivas, é essencial para maximizar os ganhos. Uma maior uniformidade de produtos oriundos das florestas é essencial à manufatura de produtos pelas sociedades contemporâneas em função da sofisticação dos processos industriais envolvidos (Zobel 1992). Academicamente, a propagação vegetativa pode ser dividida em: micropropagação - a que engloba todas as variantes in vitro (i.e. em vidro sob esterilização) ou cultura de tecidos, e macropropagação - aquela que resulta do enraizamento de estacas.

## ANTECEDENTES

Os japoneses usaram a propagação vegetativa (Toda 1979) em *Criptomeria japonica* antes que a genética florestal fosse reconhecida como tal (Oro 1972), enquanto *Cunninghamia lanceolata* tem sido cultivada através de estacas enraizadas na China por diversos séculos (Minghe 1988). A origem da propagação vegetativa em coníferas no Ocidente foi o trabalho de Zak e McAlpine (1957), que obtiveram sucesso com o enraizamento de fascículos de *Pinus*, apesar da falta de conhecimento básico naquela época; entretanto, logo verificou-se que tais enraizamentos não desenvolviam caules normais.

## SITUAÇÃO CONTEMPORÂNEA

De acordo com Ritchie (1992), todas as principais regiões geográficas, onde *Pinus* e outras coníferas são usadas extensivamente, apresentam programas de produção, bem como de desenvolvimento operacional, para o uso de mudas propagadas vegetativamente (Tabela 1).

**TABELA 1.** Produção de mudas de coníferas via propagação vegetativa em 1989, segundo Ritchie (1992).

Pais (es)	Mudas produzidas em 1989 (milhões)
Japão	31,40
Austrália e Nova Zelândia	10,15
Noruega	0,50
Suíça	7,30
Dinamarca	0,50
Finlândia	0,15

## ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO ENRAIZAMENTO

O enraizamento de estacas de *Pinus* e de outras coníferas, envolve a regeneração de meristemas adventícios radiculares diretamente a partir dos tecidos associados

com o tecido vascular ou a partir do tecido caloso formado na base da estaca. A indução da regeneração radicular nas estacas é função da espécie, do genótipo e do nível de maturação (ou desenvolvimento) da planta doadora, o qual, por sua vez, é função da estação do ano. Durante a regeneração das raízes, as auxinas (endógenas ou exógenas) e os fatores do ambiente como água, luz e temperatura são de importância particular (Greenwood et alli 1980).

Embora um considerável número de substâncias exógenas promovam o enraizamento (Hartmann e Kester 1983), as auxinas, sintéticas ou naturais, são, consistentemente, as mais importantes. Se as auxinas atuam isoladamente (Greenwood et alli 1974) ou em conjunto com outras substâncias (Haissig 1974) ainda não está estabelecido. As auxinas são ativamente transportadas para a base da planta (transporte polar), mesmo que a planta seja invertida por períodos longos (Sheldrake 1974). Esta polarização basal no transporte de auxinas parece estar associada com a formação de raízes na base e, de fato, pode ser essencial para tal processo (Jarvis e Shaheed 1986). A inibição do transporte polar da auxina inibe o enraizamento, mesmo que a auxina seja aplicada na base da estaca; isto implica no fato de que, a alocação interna de auxinas naturais pode ser vital ao processo de enraizamento (Jarvis e Shaheed 1986).

Dentro da espécie, a importância do genótipo é significativa na habilidade das estacas em formarem raízes (Fielding 1969; Bower e van Buijtenen 1977; Greenwood e Nussbaum 1981) visto a existência de variações de até 74% de clone para clone. O desenvolvimento fisiológico (i.e. maturação) que ocorre nos vegetais arbóreos é usualmente acompanhado de um decréscimo na formação de raízes (Hackett 1985). Com *Pinus*, os resultados de diversos estudos levam a conclusão de que a habilidade de enraizamento decresce vertiginosamente após o primeiro ano, nivelando-se logo em seguida (Marino 1982; Grigsby 1961). A capacidade de estacas enraizadas crescer em altura e diâmetro, bem como de desenvolver a copa, decresce marcadamente com a idade da planta mãe (Foster et alli 1987), influenciando a capacidade reprodutiva e o tamanho das acículas.

Diversas considerações ambientais, como a posição dentro da copa ou tratos culturais, podem influenciar a performance das estacas; geneticistas, em geral, referem-se a estas considerações como "efeitos C" em vista da modificação imposta por aquelas na média clonal (ou genotípica) dos caracteres em estudo. Manipulações culturais das plantas-mães resultam em positivos "efeitos C". Bower e Buijtenen (1977) encontraram maior facilidade de enraizamento com estacas de plantas cultivadas em casas de vegetação do que com estacas de plantas estabelecidas no campo.

## FATORES MODULANTES DO AMBIENTE DE ENRAIZAMENTO

### a) Nutrição Mineral

Apesar da reconhecida significância da relação entre a nutrição mineral e o enraizamento, a importância de vários nutrientes neste processo não é claramente conhecida. Em geral, qualquer nutriente envolvido nos diversos processos metabólicos, associados à diferenciação e formação do meristema radicular, é essencial para a iniciação radicular. Assim, N é necessário devido a sua participação na síntese de ácidos nucleicos e proteínas, bem como evidências diretas e indiretas apontam para P, Ca, Mn, K, B e Zn. O estado nutricional do vegetal pode, também, atuar sinergicamente com vários fatores que induzem o enraizamento e afetam o crescimento e vigor pós-propagação.

Existem dados limitados demonstrando que a mobilização de nutrientes minerais durante a iniciação radicular é quase diferente da mobilização que ocorre durante o crescimento e desenvolvimento da raiz. Isto sugere que, dentro de certos limites, o status nutricional da planta-mãe, ou estaca, possui maior impacto no crescimento e desenvolvimento radicular do que na iniciação radicular. Esta observação sugere que a influência da nutrição mineral na iniciação radicular é altamente dependente nos níveis iniciais dentro daquela porção da estaca aonde as raízes serão formadas.

A lixiviação de N, P, K, Ca e Mg durante a aplicação foliar é um fato estabelecido; no

entretanto, a extensão do resultado em prevenir ou retardar o enraizamento e em influenciar o crescimento e vigor pós-propagação são aspectos importantes para pesquisas futuras.

### b) Carboidratos

Os carboidratos servem como fonte de energia e de esqueletos de carbono necessários para a produção de novos tecidos; isto posto, existe um limite mínimo abaixo do qual crescimento e desenvolvimento cessam. Conseqüentemente, se as plantas doadoras apresentam baixas concentrações de carboidratos e se as estacas delas obtidas forem enraizadas sob condições restritivas de fotossíntese líquida, haverá pouca energia disponível para suportar o enraizamento.

Os dados bibliográficos revelam que existe uma relação entre a concentração de carboidratos e o enraizamento de estacas. No entretanto, a determinação do conteúdo de carboidratos não tem sido adequadamente acurada para prever o enraizamento. Tal afirmação, provavelmente, é derivada do fato de que o status de carboidratos da planta doadora e o das estacas são determinados por parâmetros ambientais e de desenvolvimento, os quais, por sua vez, alteram outros fatores conhecidos por sua correlação com enraizamento (i.e. auxinas e estado de diferenciação).

As análises de carboidratos tem sido feitas, primariamente, ao nível do órgão, o que pode mascarar os acontecimentos ao nível de primórdios celulares. Técnicas microanalíticas ao nível celular irão ampliar os conhecimentos sobre a importância dos carboidratos, especialmente quando executadas em diferentes estágios do enraizamento. Em adição, existem oportunidades para trabalhos relacionados com carboidratos fosforilados, tendo em vista a capacidade regulatória dos mesmos no metabolismo de carboidratos.

### c) Água

A formação de raízes adventícias claramente envolve crescimento celular e a síntese de novos componentes, que por sua vez, são influenciados em diversas maneiras pelo stress hídrico. Pressão de turgor é

essencial em prover a força necessária para expansão celular.

A característica central da performance de estacas com área fotossintética é a de que estas, por não apresentarem raízes, facilmente desenvolvem deficiência hídrica. Cameron e Rook (1974) demonstraram que estacas de *Pinus radiata* ganham mais água através da base e da folhagem imersa no substrato úmido, do que através da folhagem exposta à pulverização ou da epiderme do caule abaixo da superfície do solo.

A taxa de perda de água da folhagem é determinada pelo gradiente entre as folhas e o ar circunvizinho mais as resistências ao caminamento (cuticular, estomatal, etc) do vapor d'água, a qual pode ser sumarizada pela relação:

$$T = (V_{\text{folha}} - V_{\text{ar}}) / r_{\text{folha}}$$

onde T = transferência.

Diversos fatores ambientais modificam os componentes da igualdade acima. A irradiância exerce influência através do aumento de temperatura da folha e, assim, na pressão de vapor dentro dos tecidos ( $V_{\text{folha}}$ ). A irradiância também influencia o componente estomatal via alteração no nível de dióxido de carbono dentro da folha e através do efeito no turgor celular. O aumento na concentração de dióxido de carbono demonstrou uma redução na transpiração de estacas pela indução do fechamento dos estômatos (Forschner e Reuther 1984). A umidade do ar ao redor das estacas tem influência no status hídrico; a maioria dos sistemas de propagação tentam manter um alto grau de saturação na atmosfera. Pressão alta de vapor é mantida através do uso de coberturas de polietileno ou através do fornecimento de água em minúsculas gotas, ou ainda, através da combinação de ambas (Whitcomb et alii 1982).

#### d) Auxinas

Em termos das estacas inteiras de angiospermas, um breve período de fluxo metabólico precede o enraizamento; durante este período, as estacas apresentam um alto nível de atividade de peroxidases básicas (AIA-oxidase) e um baixo nível de auxina

comparado com o período de iniciação do primórdio (Gaspar 1981; Gaspar e Hofinger 1989).

#### e) Etileno

Etileno estimula a iniciação de raízes adventícias em ramos de diversas espécies (Mudge 1989), a iniciação de raízes laterais (Graham e Linderman 1980) e ramificação do sistema radicular em *Pinus* (Rupp e Mudge 1985). O efeito do etileno na formação de raízes adventícias é altamente variável dependendo da espécie e das condições ambientais e fisiológicas prevalescentes. A promoção de enraizamento pelo etileno tem sido reportado mais frequentemente em plantas intactas do que em estacas, herbáceas do que em não-herbáceas, e em plantas com primórdios radiculares preformados do que sem os mesmos. Os resultados conflitantes de vários estudos envolvendo estacas pode ser devido ao maior ou menor tempo de resposta do tecido vegetal ao estímulo do etileno.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Cameron, R.J. e D.A. Rook. 1974. Rooting stem cuttings of *radiata* pine: environmental and physiological aspects. N.Z.J. For.Sci. 4:291-298.
- Forschner, W. e G. Reuther. 1984. Photosynthese und Wasserhaushalt von *Pelargonium-Stecklingen* während der Bewurzelung unter dem Einfluss verschiedener Licht- und CO<sub>2</sub>-Bedingungen. Gartenbauwissenschaft 49:182-190.
- Foster, G.S. C.C. Lambeth e M.S. Greenwood. 1987. Growth of loblolly pine rooted cuttings compared with seedlings. Can. J. Forest Res. 17:157-164.
- Gaspar, T. 1981. Inhibition of root growth as a result of methyleneoxindole formation. Plant Sci. Lett. 1:115-118.

- Saspar, T. e M. Hofinger. 1988. **Auxin metabolism during adventitious rooting.** IN *Adventitious Root Formation in Cuttings* (T.D. Davis, B.E. Haissig e N. Sankhla, eds.) Dioscorides Press, Oregon: 117-131.
- Graham, J.H. e R.G. Lindeman. 1981. **Effect of ethylene on root growth, ectomycorrhiza formation and Fusarium infection of Douglas-fir.** *Can. J. Bot.* 59:149-155.
- Greenwood, M.S. A.C. Harlow e H.D. Hodgson. 1974. **The role of auxin metabolism in root meristem regeneration by *Pinus lambertiana* embryo cuttings.** *Physiol. Plant.* 32: 198-202.
- Greenwood, M.S., T.M. Marino, R.D. Meier e K.W. Shaham. 1980. **The role of mist and chemical treatments in rooting loblolly and shortleaf pine cuttings.** *Forest Sci.* 26: 651-655.
- Grigsby, H.C. 1961. **Propagation of loblolly pine by cuttings.** *Proc. International Plant Propagators Soc.* 1961:33-55.
- Hackett, W.P. 1985. **Juvenility, maturation, and rejuvenation in woody plants.** *Hortic. Reviews* 7: 109-155.
- Haissig, B.E. 1974. **Influences of auxins and auxins synergists on adventitious root primordium initiation and development.** *N.Z.J. Forest Sci.* 4: 311-323.
- Hartmann, H.T. e D.E. Kester. 1983. **Plant Propagation-Principles and Practices.** Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 227p.
- Jarvis, B.C. e A.I. Shaheed. 1986. **Adventitious root formation in relation to the uptake and distribution of supplied auxin.** *New Phytol.* 103: 23-31.
- Marino, T.M. 1982. **Propagation of southern pines by cuttings.** In *Combined Proc. International Plant Propagation Soc.* 31: 518-524.
- Mingle, L. 1988. **Historical development of superior clones of Chinese Fir in China.** Dep. For., Central China Agric. Univ. Wuham, China. 14 p.
- Mudge, K.W. 1988. **Effect of ethylene on rooting.** In *Adventitious Root Formation in Cuttings* (T.D. Davis, B.E. Haissig e N. Sankhla, eds.) Dioscorides Press, Oregon: 150-161.
- Ono, M. 1972. **Which grow faster, seedling or cuttings in the case of *Cryptomeria* or hinoki cypress?** Abstracts Japan. Lit. in For. Genet. & Related Fields. 1 (1): 22.
- Ritchie, G.A. 1991. **The commercial use of rooted cuttings in forestry: a world overview.** *New For. Forest Sci.* 4: 410-417.
- Rupp, L.A. e K.W. Mudge. 1985. **Ethylene and auxin induce mycorrhiza-like changes in the morphology of root organ cultures of Mugo pine.** *Physiol. Plant.* 64: 316-322.
- Talbert, C.B., G.A. Ritchie e P. Gupta. 1992. **Conifer vegetative propagation: an overview from a commercialization perspective.** In *Clonal Forestry: Genetics, Biotechnology and Application.* Eds. R. Ahuja e W. Libby. Springer-Verlag.
- Toda, R. 1979. **Vegetative propagation in relation to Japanese tree improvement.** N.Z. Zak, B. e R.G. McAlpine. 1957. **Rooting of shortleaf pine needle bundles.** USDA For. Serv. Res. Note SE-112.
- Zobel, B. 1992. **Vegetative propagation in production forestry.** *J. For.* 90 (4): 29-33.
- Whitcomb, C.E., Gray, C. e B. Cavanaugh. 1982. **Propagating under a wet tent.** *Aust. Hortic. May:* 97-98.