

DOI: 10.4025/actasciagron.v32i4.4879

# Aplicação de IBA para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden

Gilvano Ebling Brondani<sup>1\*</sup>, Fernando Grossi<sup>2</sup>, Ivar Wendling<sup>3</sup>, Leonardo Ferreira Dutra<sup>4</sup> e Marla Alessandra Araujo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, Cx. Postal 9, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. <sup>3</sup>Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Colombo, Paraná, Brasil. <sup>4</sup>Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. <sup>5</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: [gebrondani@yahoo.com.br](mailto:gebrondani@yahoo.com.br)

**RESUMO.** O *Eucalyptus* apresenta grande importância no setor florestal e muitos avanços na área do melhoramento foram conquistados com o advento da biotecnologia. Contudo, alguns genótipos promissores ainda não possuem protocolos de multiplicação com técnicas de clonagem, como a miniestaca. Objetivou-se avaliar concentrações de IBA na sobrevivência, enraizamento e vigor vegetativo de miniestacas de *E. benthamii* x *E. dunnii*, com a determinação da dose de máxima eficiência técnica. Minicepas dos clones H12, H19 e H20 foram manejadas em minijardim clonal em sistema semi-hidropônico. Para o enraizamento, mergulhou-se a porção basal da miniestaca em soluções hidroalcoólicas, cujas concentrações foram: 0, 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, sendo constituído por três clones e cinco concentrações de IBA, com cinco repetições, contendo dez miniestacas por repetição. O IBA influenciou positivamente os processos rizogênicos das miniestacas com resposta diferenciada entre os clones, a qual variou de 30,32 a 55,45% de enraizamento. Para os clones H12 e H19, os incrementos positivos ocorreram até a maior concentração de IBA. Contudo, a faixa situada entre os tratamentos de 4.000 e 6.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA promoveu os melhores resultados de enraizamento para o clone H20.

**Palavras-chave:** clonagem, propagação vegetativa, ácido indolilbútrico, regulador vegetal, multiplicação de genótipos superiores.

**ABSTRACT. IBA application for rooting of *Eucalyptus benthamii* Maiden and Cambage x *Eucalyptus dunnii* Maiden minicuttings.** *Eucalyptus* has great importance in the forestry sector and many advances in the area of improvement have been achieved with the advent of biotechnological techniques. However, some promising genotypes still do not have multiplication protocols with cloning techniques, such as minicutting. The study aimed to evaluate IBA concentrations for survival, rooting and vegetative vigor of *E. benthamii* x *E. dunnii* minicuttings, and determine the maximum technical efficiency dose. Ministumps H12, H19 and H20 clones were cultivated in a clonal minigarden under a semi-hydroponic system. For rooting, the minicutting basal portion was plunged in hydro-alcoholic solutions, whose concentrations were: 0, 2,000, 4,000, 6,000 and 8,000 mg L<sup>-1</sup> of IBA. The experiment was conducted in a completely randomized design, with the factors consisting of three clones and five IBA concentrations, with five replications, containing 10 minicuttings per replication. IBA positively influenced the minicutting rooting processes, with differentiated behavior between the clones, with 30.32 to 55.45% rooting variation. The positives increments occurred until the highest IBA concentration for H12 and H19 clones. However, the range between 4,000 and 6,000 mg L<sup>-1</sup> of IBA treatments promoted the best rooting results for the H20 clone.

**Key words:** cloning, vegetative propagation, indolebutyric acid, growth regulator, superior genotype multiplication.

## Introdução

As regiões Sul e Sudeste do Brasil formam o maior pólo consumidor e exportador de madeira oriunda de plantios florestais. Contudo, as espécies de eucalipto adaptadas às condições climáticas mais frias e

economicamente importantes para a região Sul do Brasil constituem um grupo muito restrito, pois apresentam diferenças fundamentais entre si quanto às respostas aos estímulos ambientais de cada nicho ecológico (DEL QUIQUI et al., 2001; ROSA et al., 2006). Dentre as espécies, tanto o *Eucalyptus*

*benthamii* quanto o *Eucalyptus dunnii* apresentam boa aptidão, principalmente quanto à produção de madeira para fins energéticos e sólidos madeiráveis (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006).

Segundo Assis e Mafia (2007), em regiões, onde a incidência de geadas severas compromete o estabelecimento e a adaptação de espécies de *Eucalyptus*, a resistência ao frio é uma das características de maior importância que pode ser introduzida por meio da hibridação. Recentemente, constatou-se a ocorrência de híbridos espontâneos entre essas duas espécies na Embrapa Florestas em Colombo, Estado do Paraná, cujas plantas híbridas têm evidenciado superioridade em relação às espécies paternas quanto ao crescimento e tolerância a geadas. Entretanto, existe a necessidade de avaliações complementares, tendo em vista o potencial do material, visando à futura obtenção de sementes híbridas sintéticas e clones comerciais.

O híbrido entre *E. benthamii* e *E. dunnii* apresenta-se como alternativa para futuros plantios florestais, principalmente em função da respectiva tolerância (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006) e resistência (HIGA et al., 2000) a geadas. Apesar dos avanços, existem limitações quanto à produção de sementes e, quando existe disponibilidade, os preços são elevados, principalmente ao considerar as sementes híbridas, em que sua dificuldade de obtenção é ainda maior. Como alternativa de clonagem massal, destaca-se a miniestaquia, a qual pode ser considerada uma variação da estaquia convencional. Basicamente consiste na utilização de brotações de plantas propagadas pelo processo de macroestaquia, ou mudas produzidas por sementes (ALFENAS et al., 2004). Atualmente, a miniestaquia constitui-se no método mais adotado pelas grandes empresas florestais brasileiras para a clonagem de *Eucalyptus* (ALMEIDA et al., 2007).

A sua execução consiste, basicamente, na quebra da dominância apical pela poda da macroestaca enraizada, a qual emite novas brotações (miniestacas) para o enraizamento e a formação de futuras mudas em intervalos variáveis em função da época do ano, de condições estruturais, de clone por espécie e de condições nutricionais (ALFENAS et al., 2004).

Como principais avanços, essa técnica promoveu a redução das dimensões do jardim clonal, o qual passou a ser chamado de minijardim clonal. Ele pode ser implantado em sistema de recipientes que variam desde vasos de polipropileno de diferentes volumes a caixas de fibra de vidro com variadas formas e dimensões, ou a sistemas de 'canaletões' de fibrocimento, sendo este o mais utilizado pelas grandes empresas florestais (ALFENAS et al., 2004).

Este fato proporcionou maior controle ambiental, fitopatológico, hídrico e nutricional das minicepas, resultando em aumento da produtividade por unidade de área, aumento da taxa de enraizamento, maior uniformidade das miniestacas, menor variação sazonal, facilidade de colheita, menor custo de transporte e processamento de brotações e redução ou, em alguns casos, até ausência da aplicação de reguladores vegetais (ALFENAS et al., 2004; BRONDANI et al., 2007, 2008; MAFIA et al., 2005; WENDLING; XAVIER, 2003).

Inúmeros trabalhos relacionados a propagação vegetativa de *Eucalyptus*, via técnica de miniestaquia, têm sido realizados com *E. dunnii* (SOUZA JUNIOR; WENDLING, 2003), *E. benthamii* (CUNHA et al., 2005), *E. grandis* (SANTOS et al., 2005; TITON et al., 2002, 2003; WENDLING; XAVIER, 2005a), *E. cloeziana* (ALMEIDA et al., 2007), *Eucalyptus* spp. (FERREIRA et al., 2004; WENDLING; XAVIER, 2003; WENDLING et al., 2000) e *E. benthamii* x *E. dunnii* (BRONDANI et al., 2008). Dentre esses trabalhos, aplicações de reguladores vegetais proporcionaram efeitos positivos ou negativos aos processos de enraizamento em propágulos vegetativos, sendo o ácido indolilbutírico (IBA) o mais empregado, variando em suas formas de aplicação, veiculado em talco e líquido e, mais recentemente, via gel (BRONDANI et al., 2008). O equilíbrio endógeno entre os reguladores vegetais apresenta forte influência na emissão de raízes adventícias, porém as concentrações exógenas podem variar em função das condições de trabalho e das características de cada material genético.

Como não existe protocolo estabelecido de propagação clonal, via técnica de miniestaquia, com o genótipo em questão, objetivou-se avaliar diferentes concentrações de IBA na sobrevivência, no enraizamento e no vigor vegetativo de miniestacas de três clones de *E. benthamii* x *E. dunnii*, com a determinação da dose de máxima eficiência técnica.

## Material e métodos

### Caracterização geral do experimento

O trabalho foi conduzido de junho a agosto de 2007, no Laboratório de Propagação de Plantas da Embrapa Florestas - CNPF, situada em Colombo, Estado do Paraná (25°20' S e 49°14' W, 950 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é temperado, do tipo Cfb, ou seja, temperatura do mês mais frio entre -3 a 18°C, sempre úmido, chuva

em todos os meses do ano e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C, mas no mínimo quatro meses com temperatura maior que 10°C.

#### Obtenção dos clones e constituição do minijardim clonal

Utilizaram-se genótipos superiores do híbrido natural de *E. benthamii* x *E. dunnii* de aproximadamente um ano de idade, identificados como H12, H19 e H20, os quais foram selecionados precocemente pela equipe de melhoramento florestal da Embrapa Florestas. As matrizes, de onde se originaram estes clones, foram plantadas no município de Guarapuava, Estado do Paraná, no espaçamento inicial de 3 x 2 m.

A partir das brotações produzidas pelas matrizes decepadas foram obtidas estacas dos ramos da parte aérea, as quais foram enraizadas em casa-de-vegetação. Como recipientes de cultivo foram utilizados tubetes plásticos de forma cônica de 55 cm<sup>3</sup>, contendo como substrato a mistura de casca de arroz carbonizada, vermiculita média e substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita (1:1:1 v v<sup>-1</sup>). Em janeiro de 2006, mudas dos clones com 90 dias de idade e aproximadamente 15 cm de altura foram transferidas para sistema semi-hidropônico de canaletão em leito de areia e plantadas no espaçamento 10 x 15 cm.

Decorridos 21 dias para adaptação das mudas ao sistema semi-hidropônico, procedeu-se à poda da brotação apical para formar as minicepas, a partir do desenvolvimento das brotações basais induzidas pela quebra da dominância apical. A poda foi efetuada 7 cm acima do caule da brotação de cada estaca enraizada, tomando-se o cuidado de se manter, no mínimo, um par de folhas remanescentes por minicepa, a fim de se reduzir o estresse e facilitar a iniciação da brotação posterior, constituindo-se o minijardim clonal.

#### Manejo e nutrição das minicepas

O minijardim clonal foi mantido em condições de estufa recoberta com polietileno. Procedeu-se à limpeza semanal do sistema, com eliminação de folhas, brotações e minicepas mortas. As minicepas receberam solução nutritiva por gotejamento, a qual foi distribuída três vezes ao dia a uma vazão total de 5 L m<sup>-2</sup>.

A solução nutritiva foi composta por monoamônio fosfato (0,04 g L<sup>-1</sup>), sulfato de magnésio (0,40 g L<sup>-1</sup>), nitrato de potássio (0,44 g L<sup>-1</sup>), sulfato de amônio (0,31 g L<sup>-1</sup>), cloreto de cálcio (0,79 g L<sup>-1</sup>), ácido bórico (2,88 mg L<sup>-1</sup>), sulfato de manganês (3,70 mg L<sup>-1</sup>), molibdato de sódio (0,18 mg L<sup>-1</sup>), sulfato de zinco (0,74 mg L<sup>-1</sup>) e hidróferro em pó (81,80 mg L<sup>-1</sup>). Durante a renovação da solução nutritiva, realizada a cada três semanas, a condutividade elétrica foi mantida em 1,6 mS m<sup>-2</sup> a

25°C e o pH ajustado a 5,5 (± 0,1), corrigido com ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), ambos a 1M. A análise química da água apresentou as seguintes características: 1,4 mg L<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub>, 0,4 mg L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>4</sub>, 0,93 mg L<sup>-1</sup> de P, 1,44 mg L<sup>-1</sup> de K, 26,08 mg L<sup>-1</sup> de Ca, 5,07 mg L<sup>-1</sup> de Mg, 0,4 mg L<sup>-1</sup> de Cu, 0,09 mg L<sup>-1</sup> de Fe, 0,04 mg L<sup>-1</sup> de Mn e 0,04 mg L<sup>-1</sup> de Zn.

#### Coleta de brotações e preparo das miniestacas

As brotações dos três clones (H12, H19 e H20) de *E. benthamii* x *E. dunnii* foram coletadas, preferencialmente, no período matinal, a fim de se reduzir a evapotranspiração das miniestacas. Para tal, utilizaram-se tesouras de poda, previamente esterilizadas em álcool (70% v v<sup>-1</sup>). Durante todo o processo, as brotações foram armazenadas em caixas de isopor contendo água, a fim de se minimizar a perda da turgescência celular dos tecidos vegetais.

As coletas foram efetuadas em diferentes intervalos de tempo e de maneira seletiva, ou seja, brotações menores que 5 cm e com menos de três pares de folhas foram mantidas na minicepa para as coletas subsequentes. Logo após a coleta das brotações foram preparadas as miniestacas sem a remoção da ponteira (gema apical). Na região basal foi efetuado um corte reto, mantendo-se um par de gemas. As miniestacas apresentaram comprimento de 5 cm (± 1 cm) e um par de folhas, as quais foram reduzidas a 50% da área foliar total.

#### Manejo e fertilização das miniestacas

Previamente à adição do substrato ao recipiente de cultivo, os tubetes foram expostos à solução a 0,25% (v v<sup>-1</sup>) de cloro ativo (NaOCl) por 48h, visando erradicar-se possíveis fontes de patógenos e, em seguida, foram enxaguados com água corrente, a fim de se remover os resíduos. O substrato foi composto pela mistura de casca de arroz carbonizada e vermiculita média (1:1 v v<sup>-1</sup>), sendo incorporados 4 kg m<sup>-3</sup> de superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 14% de S) e 1,5 kg m<sup>-3</sup> de FTEBR12 (9% Zn, 3% Fe, 2% Mn, 0,1% Mo, 1,8% B e 0,8% Cu).

Para a promoção dos processos rizogênicos, as miniestacas permaneceram em casa-de-vegetação automatizada. A umidade relativa do ar (UR ≥ 80%) e a temperatura do ar (T < 30°C) foram mantidas sob controle automático, por meio de umidostato e termostato, respectivamente. Decorrido o tempo de enraizamento, as miniestacas foram transferidas para casa-de-vegetação com sombrite de 50% para aclimação. O sistema de microaspersão funcionou com pressão de água da rede e foi controlado por temporizador em intervalos pré-estabelecidos. O sistema foi composto por 12 microaspersores

(amarelos) de 2,0 kg cm<sup>-2</sup> de pressão, com vazão de 144 L h<sup>-1</sup> (2,4 L min.<sup>-1</sup>), o qual se ligou durante 2 min. a cada 2h. Após o processo de aclimação, as miniestacas foram transferidas para uma área de pleno sol, visando a rustificação e o crescimento. O sistema de aspersão funcionou com pressão de água de rede (2,0 kg cm<sup>-2</sup>) e foi controlado por temporizador. O sistema foi composto por 12 microaspersores (verdes) de 97 L h<sup>-1</sup>, o qual foi ligado três vezes ao dia durante 20 min.

Da fase de aclimação até a rustificação, realizou-se adubação semanal de cobertura com 6 mL muda<sup>-1</sup> da seguinte formulação: sulfato de amônio (4 g L<sup>-1</sup>), superfosfato triplo (10 g L<sup>-1</sup>), cloreto de potássio (4 g L<sup>-1</sup>), e solução de micronutrientes (10 mL L<sup>-1</sup>), composta por: 9% de Zn; 1,8% de B; 0,8% de Cu; 3% de Fe; 2% de Mn e 0,12% de Mo.

#### Aplicação do ácido indolilbutírico

Para o processo de enraizamento, mergulhou-se a porção basal das miniestacas durante 10 segundos em diferentes soluções hidroalcoólicas nas seguintes concentrações: 0, 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA (diluídos a 50% em álcool e 50% em água v v<sup>-1</sup>). Logo após, foram introduzidas em tubetes plásticos cônicos (55 cm<sup>3</sup>), com a inserção de aproximadamente 2 cm da região basal da miniestaca no substrato de cultivo.

Ao longo do experimento, avaliou-se a sobrevivência das miniestacas na saída da casa-de-vegetação (SSCV), na saída da casa de sombra (SSCS) e a sobrevivência em área de pleno sol (SAPS). Na avaliação da SSCV (35 dias) e da SSCS (56 dias), consideraram-se vivas apenas as miniestacas que mantiveram o vigor, caracterizado pela coloração verde. Na SAPS (86 dias), consideraram-se somente as miniestacas enraizadas, as quais foram caracterizadas pela emissão da raiz na porção inferior do tubete. Destas, foram avaliadas as características do número de folhas e o comprimento médio de brotações. A dose de máxima eficiência técnica (DMET) foi determinada

a partir do cálculo das derivadas parciais das equações ajustadas pela análise de regressão.

O experimento foi conduzido em esquema inteiramente casualizado em arranjo fatorial (3 x 5), sendo os fatores constituídos por três clones e cinco concentrações de IBA, com cinco repetições, contendo 10 miniestacas por repetição.

#### Procedimentos estatísticos

Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste Lilliefors (p < 0,05) e ao de Bartlett (p < 0,05) e, em seguida, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) (p < 0,01 e p < 0,05).

Os dados qualitativos foram comparados pelo teste de Tukey (p < 0,05) e os quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial (p < 0,01 e p < 0,05). Utilizaram-se os pacotes estatísticos Statistical Program (MSTAT, 1994) e Programa SOC - Software Científico (EMBRAPA, 1990) para a realização dos procedimentos estatísticos.

#### Resultados e discussão

Com base nos dados amostrados, pôde-se observar que houve interação (p < 0,05) entre os fatores testados apenas para a característica da sobrevivência das miniestacas em área de pleno sol (SAPS), ou seja, os clones responderam de maneira diferenciada quanto à SAPS em função da aplicação de IBA (Tabela 1).

Existiu efeito significativo (p < 0,01) para o fator clone em relação às características da SSCV, SSCS e CMB. Contudo, não foi constatado efeito significativo do número de brotações (NB) (Tabela 1). De acordo com a análise de regressão para o efeito da aplicação do fitorregulador IBA, ajustou-se a equação linear apenas para as características da SSCV (p < 0,05) e SSCS (p < 0,01).

Os valores do CV<sub>exp.</sub> referentes às características amostradas (Tabela 1) estão de acordo com os registrados na literatura para miniestaca de *Eucalyptus* (TITON et al., 2003; ALMEIDA et al., 2007), indicando que a precisão do experimento encontra-se nos padrões existentes para essa técnica de clonagem.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para as características da sobrevivência na saída da casa-de-vegetação (SSCV), saída da casa de sombra (SSCS), sobrevivência em área de pleno sol (SAPS), número de brotações (NB) e comprimento médio de brotações (CMB) de miniestacas de *E. benthamii* x *E. dunnii*.

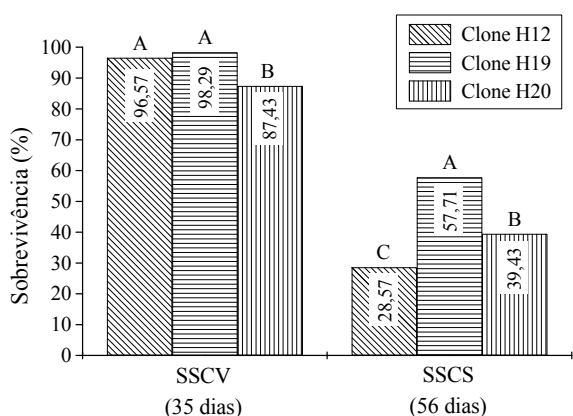
Causas da Variação	GL	Quadrados Médios				
		SSCV	SSCS (%)	SAPS	NB <sup>(1)</sup> (muda <sup>-1</sup> )	CMB <sup>(1)</sup> (cm muda <sup>-1</sup> )
Clone (CL)	2	851,75 **	5.422,74 **	4.508,46 **	0,0048 <sup>ns</sup>	0,0563 **
IBA	4	172,82 *	1.006,62 **	798,49 **	0,0084 <sup>ns</sup>	0,0027 <sup>ns</sup>
CL x IBA	8	62,59 <sup>ns</sup>	198,64 <sup>ns</sup>	204,80 *	0,0049 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	61,23	122,43	96,59	0,0055	0,0036
Média	-	94,09	41,90	34,48	1,45	1,56
CV <sub>exp.</sub> (%)	-	8,32	26,40	28,51	20,06	15,40

<sup>ns</sup>não-significativo em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste F. \* e \*\*significativo em nível de 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste F. <sup>1</sup>dados transformados por (n/10)<sup>0,5</sup> em nível de 5% de probabilidade de erro. GL = graus de liberdade. CV<sub>exp.</sub> = coeficiente de variação experimental, n = dado amostrado.

Os valores médios da sobrevivência das miniestacas dos clones H12 (96,57%) e H19 (98,29%), durante a saída da casa-de-vegetação (SSCV), diferiram significativamente da sobrevivência registrada para o clone H20, o qual apresentou valor médio de 87,43% de miniestacas vivas durante esse período (Figura 1). Estes resultados corroboram com os encontrados por Almeida et al. (2007), Souza Junior e Wendling (2003), Titon et al. (2003), Wendling e Xavier (2005b) e Wendling et al. (2000), em que foi constatada alta sobrevivência de miniestacas nessa fase.

O fato de os percentuais de sobrevivência de miniestacas apresentarem-se altos durante a SSCV advém do controle das condições ambientais no interior da casa-de-vegetação, as quais são favoráveis à manutenção da sobrevivência dos propágulos vegetativos (WENDLING; XAVIER, 2005b). Portanto, a elevada sobrevivência de miniestacas durante a saída da casa-de-vegetação indica que a temperatura e a umidade relativa do ar foram controladas adequadamente.

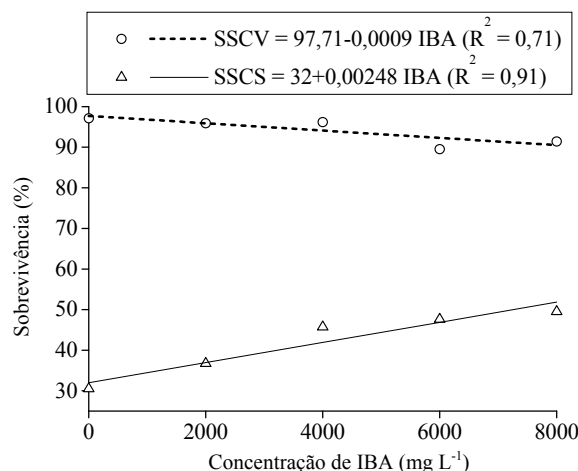
Apesar da elevada sobrevivência das miniestacas na saída da estrutura de enraizamento, ocorreu significativa mortalidade durante a fase de aclimação em casa-de-sombra. Nesta fase, os clones apresentaram comportamento diferenciado, e o maior valor médio da SSCS foi observado para o H19 que apresentou 57,71% de miniestacas vivas, seguido do clone H20, com 39,43%. O clone H12 demonstrou maior sensibilidade durante essa fase de aclimação, resultando no menor valor registrado de miniestacas vivas, com apenas 28,57% de sobrevivência (Figura 1).



**Figura 1.** Variação da sobrevivência de miniestacas dos clones H12, H19 e H20 de *E. benthamii* x *E. dunnii* durante a saída da casa-de-vegetação (SSCV) e saída da casa-de-sombra (SSCS). Médias seguidas por mesma letra dentro de cada fase não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade

Em relação às concentrações do fitorregulador, independente do clone, a aplicação de IBA apresentou tendência de proporcionar mortalidade de miniestacas durante a SSCV, ao se comparar com os valores médios da testemunha. De maneira geral, quanto maior a concentração, maior a mortalidade registrada (Figura 2). Esse comportamento pode ter ocorrido por algum efeito residual do IBA na porção basal da miniestaca, contudo, a mortalidade foi pequena, e a estimativa da sobrevivência de miniestacas para o tratamento controle (ausência de fitorregulador) foi de 97,71% e, na maior concentração de IBA (8.000 mg L<sup>-1</sup>), foi de 90,51%.

Apesar da constatação desse efeito, durante a aclimação das miniestacas em casa-de-sombra (SSCS), ocorreu efeito inverso ao observado na SSCV em relação às concentrações de IBA, ou seja, o aumento das concentrações de auxina promoveu resposta positiva quanto a sobrevivência das miniestacas. Contudo, ao se considerar cada tratamento isoladamente, pôde-se observar que, durante a SSCS, ocorreu mortalidade das miniestacas em relação aos valores observados na SSCV, passando em média, a valores inferiores a 50% de sobrevivência (Figura 2). Segundo Wendling e Xavier (2005b), a redução do percentual de sobrevivência das miniestacas na fase de saída da casa-de-sombra pode estar relacionada a mudanças das condições ambientais, em que os efeitos de oscilações hídricas e lumínicas, ocorridas na área de aclimação, proporcionam maiores estresses às miniestacas.

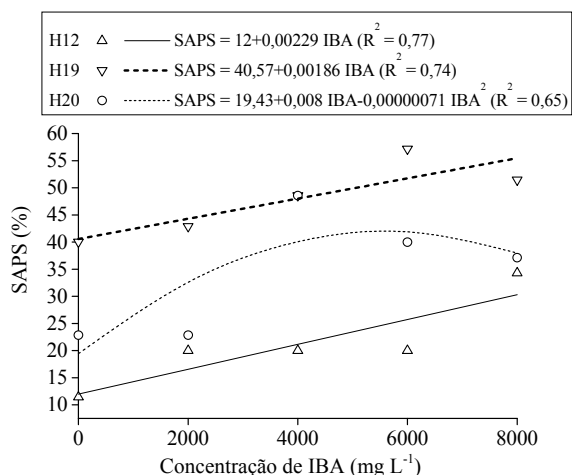


**Figura 2.** Variação da sobrevivência de miniestacas de *E. benthamii* x *E. dunnii* durante a saída da casa-de-vegetação (SSCV) (35 dias) e saída da casa-de-sombra (SSCS) (56 dias) em função das concentrações de IBA.

Durante a avaliação da sobrevivência das miniestacas em área de pleno sol (SAPS), os clones

apresentaram comportamento distinto em função das aplicações de IBA. Embora os clones H12 e H19 tenham apresentado diferentes valores de porcentagem de miniestacas enraizadas, o comportamento foi muito semelhante naquela função, com resposta linear crescente com o aumento das concentrações de IBA (Figura 3).

Porém, o clone H20 apresentou resposta quadrática crescente em função do aumento das concentrações de IBA. De acordo com a equação ajustada para o enraizamento desse clone foi estimada a dose de máxima eficiência técnica (DMET) na concentração de 5.633,8 mg L<sup>-1</sup> de IBA, o que promoveu uma estimativa de 41,97% de miniestacas enraizadas do clone H20 (Figura 3). Com base na estimativa da equação ajustada, pôde-se inferir que a faixa situada entre os tratamentos de 4.000 e 6.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA promoveu os melhores resultados para o enraizamento do clone H20.

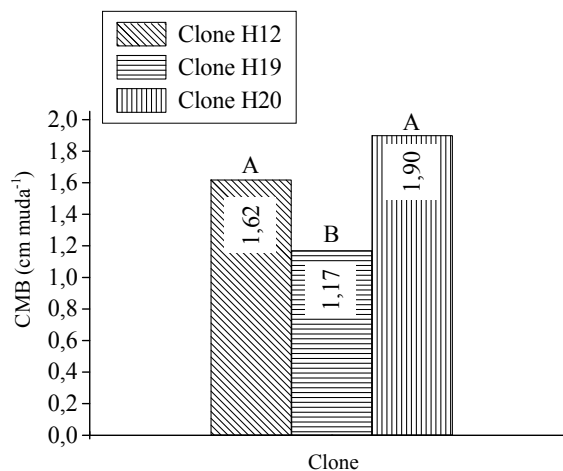


**Figura 3.** Variação do enraizamento de miniestacas dos clones H12, H19 e H20 de *E. benthamii* x *E. dunnii* durante avaliação da sobrevivência em área de pleno sol (SAPS) em função das concentrações de IBA, aos 86 dias após a miniestaquia.

Na avaliação das mudas em área de pleno sol (86 dias), o comprimento médio de brotos por miniestaca (CMB) apresentou variação entre os diferentes materiais genéticos. Os clones H12 e H20 não diferiram significativamente, apresentando os maiores valores médios, com 1,62 e 1,90 cm, respectivamente. O menor valor do CMB foi observado para o clone H19, o qual apresentou 1,17 cm para essa característica, diferindo significativamente dos demais clones testados (Figura 4). Não foi constatada diferença significativa quanto ao número de brotações, cujo valor médio foi de 1,45 brotações por muda aos 86 dias após a miniestaquia (Tabela 1).

Os efeitos da aplicação de IBA aos processos rizogênicos em propágulos vegetativos de espécies

lenhosas são diversos em função da grande variabilidade de ações, as quais estão condicionadas à interação de vários fatores, como o material genético (HARTMANN et al., 2002; TITON et al., 2003; WENDLING; XAVIER, 2005b; WENDLING et al., 2000), a forma de veiculação (ALMEIDA et al., 2007; BRONDANI et al., 2008), a época do ano, a temperatura, a luminosidade, o fotoperíodo e a juvenildade (ALFENAS et al., 2004; ASSIS; MAFIA, 2007; HARTMANN et al., 2002).



**Figura 4.** Variação do comprimento médio de brotos por miniestaca (CMB) dos clones H12, H19 e H20 de *E. benthamii* x *E. dunnii* durante avaliação em área de pleno sol, aos 86 dias após a miniestaquia. Médias seguidas por mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Em certos casos, a aplicação de IBA pode promover resultados positivos, como em materiais que apresentam dificuldade ao enraizamento (ALMEIDA et al., 2007). Contudo, a sua aplicação pode não promover incrementos ao enraizamento (SOUZA JUNIOR; WENDLING, 2003) e, em certas concentrações, até causar níveis de toxidez (WENDLING; XAVIER, 2005b). Geralmente, as concentrações consideradas ótimas para a formação de raízes são muito particulares a cada situação. Almeida et al. (2007) estudaram diferentes veiculações de IBA variando nas concentrações de 0 a 6.000 mg L<sup>-1</sup> e observaram que alguns clones de *E. cloeziana*, considerada espécie de difícil propagação vegetativa, apresentaram maior potencial rizogênico das miniestacas somente quando tratadas com as maiores concentrações do regulador vegetal, efeito este semelhante ao do presente estudo.

Titon et al. (2003) observaram que as concentrações compreendidas entre 1.000 a 2.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA proporcionaram os melhores índices de enraizamento e sobrevivência de

miniestacas para diferentes clones de *E. grandis*. Embora em outras condições, resultados semelhantes foram constatados por Wendling et al. (2000), em que o efeito do IBA foi positivo ao processo de rizogênese na miniestaquia de *Eucalyptus* spp. nas concentrações de 1.000 a 3.000 mg L<sup>-1</sup>. Porém, em outro estudo, Wendling e Xavier (2005b) observaram efeito diferenciado entre os clones na miniestaquia seriada de *E. grandis* em função das aplicações de IBA, e, em certas características dos clones estudados, foi constatada toxidez nas concentrações acima de 500 mg L<sup>-1</sup> de IBA.

Trabalhando com material juvenil, Souza Junior e Wendling (2003) concluíram que a miniestaquia de *E. dunnii* de brotações de origem seminal é tecnicamente viável sem a aplicação de IBA para a promoção do enraizamento, em vista do alto grau de juvenildade do material utilizado. Brondani et al. (2008), estudando o mesmo material genotípico, concluíram que a estimativa da dose de máxima eficiência técnica de IBA foi de 4.421,9 mg L<sup>-1</sup>. Este resultado reforça a necessidade de aplicação de elevadas concentrações de IBA para a promoção do enraizamento do híbrido, quando propagado via técnica de miniestaquia. Apesar dos valores dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) para os modelos ajustados terem variado entre 0,65 a 0,77, as equações auxiliaram para expressar uma tendência de comportamento do enraizamento das miniestacas de *E. benthamii* x *E. dunnii* na presença do IBA, o qual promoveu resultados positivos para todos os clones até a concentração de 8.000 mg L<sup>-1</sup>, em comparação à não-aplicação. Apesar disso, os índices de enraizamento foram baixos.

Um possível efeito dos baixos índices de enraizamento observado em espécies de *Eucalyptus*, indicadas para o plantio em regiões subtropicais, segundo Assis e Mafía (2007), refere-se à elevada recalitrância aos processos rizogênicos ao se comparar com espécies de *Eucalyptus* de clima tropical mais estudadas, dificultando-se o uso dessas fontes genéticas em programas clonais. A exemplo, essa característica pode ser observada para as espécies de *E. nitens*, *E. regans* (ELDRIDGE et al., 1994) e *E. benthamii* (GRAÇA et al., 1999), as quais são difíceis de enraizar se comparadas com espécies de clima tropical, como o *E. grandis*, *E. urophylla* e seus híbridos (ASSIS; MAFIA, 2007), que possuem silvicultura clonal já estabelecida em grande escala. A importância de se conhecer os fatores que afetam a formação de raízes e suas implicações está relacionada ao sucesso ou ao fracasso da produção de mudas via propagação vegetativa e, apesar da evolução das técnicas para maximizar o enraizamento de espécies de *Eucalyptus*, os fundamentos biológicos da formação de raízes

adventícias em propágulos vegetativos não estão bem elucidados (ALFENAS et al., 2004), sendo importante a realização de novos estudos nessa linha de pesquisa.

## Conclusão

Os clones responderam de maneira semelhante ao tratamento com IBA quanto à sobrevivência de miniestacas na saída da casa-de-vegetação e casa-de-sombra; a aplicação de IBA influenciou positivamente os processos rizogênicos das miniestacas, em que os clones H19 e H20 apresentaram os maiores índices de enraizamento; os clones H12 e H19 apresentaram incrementos positivos ao enraizamento adventício das miniestacas até a maior concentração de IBA; o clone H20 apresentou comportamento quadrático e a faixa situada entre os tratamentos de 4.000 e 6.000 mg L<sup>-1</sup> de IBA promoveu os melhores resultados para o enraizamento das miniestacas.

## Agradecimentos

À Embrapa Florestas e à Universidade Federal do Paraná pelo suporte prestado.

## Referências

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2004.
- ALMEIDA, F. D.; XAVIER, A.; DIAS, J. M. M.; PAIVA, H. N. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007.
- ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉMI, A. (Ed.). **Biotecnologia florestal**. Viçosa: Suprema, 2007. p. 93-121.
- BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; ROVEDA, L. F.; ORRUTÉA, A. G. Ambiente de enraizamento e substratos na miniestaquia de erva-mate. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p. 257-267, 2007.
- BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; ARAUJO, M. A.; PIRES, P. P. Ácido indolbutírico em gel para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage x *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 2, p. 153-158, 2008.
- CUNHA, A. C. M. C. M.; WENDLING, I.; SOUZA JUNIOR, L. Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage em sistema de hidroponia e em tubete. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 307-310, 2005.
- DEL QUIQUI, E. M.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, J. Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWIID, C.; VAN WYK, G. Mass vegetative propagation. In: ELDRIDGE, Maringá, v. 32, n. 4, p. 667-674, 2010

- K.; DAVIDSON, J.; HARDWIID, C.; VAN WYK, G. (Ed.). **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1994. p. 228-246.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Programa SOC - software científico**: versão 2.1. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1990.
- FERREIRA, E. M.; ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G.; LEITE, H. G.; SARTORIO, R. C.; FILHO, R. M. P. Determinação do tempo ótimo do enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 183-187, 2004.
- GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 135-138, 1999.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, JÚNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation**: principles and practices. 7th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.
- HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M. V. R. Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo Tenente, PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 40, p. 67-76, 2000.
- MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, E. M.; ZARPELON, T. G.; SIQUEIRA, L. Crescimento de mudas e produtividade de minijardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 843-851, 2005.
- MSTAT. **Statistical program**. Michigan: Michigan State University, Crop and Soil Department Science, 1994.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006.
- ROSA, H.; MARTINS, S. S.; SILVA, O. H. Atividade florestal nos municípios de Telêmaco Borba, Ortigueira, Reserva, Imbaú e Tibagi: caracterização e perspectivas do setor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 41-45, 2006.
- SANTOS, A. P.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, M. L.; REIS, G. G. Efeito da estaquia, miniestaquia, microestaquia e micropropagação no desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 29-38, 2005.
- SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaquia de material juvenil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 46, p. 21-30, 2003.
- TITON, M.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Dinâmica do enraizamento de microestacas de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 665-673, 2002.
- TITON, M.; XAVIER, A.; OTONI, W. C.; REIS, G. G. Efeito do AIB no enraizamento de miniestacas e microestacas de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 1-7, 2003.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Miniestaquia seriada no rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 475-480, 2003.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência da miniestaquia seriada no vigor radicular de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 681-689, 2005a.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutírico e da miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 921-930, 2005b.
- WENDLING, I.; XAVIER, A.; GOMES, J. M.; PIRES, I. E.; ANDRADE, H. B. Efeito do regulador de crescimento AIB na propagação de clones de *Eucalyptus* spp. por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 187-192, 2000.

Received on August 31, 2008.

Accepted on March 5, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.