

**SELEÇÃO DENTRO DE PROGÊNIES DE POLINIZAÇÃO ABERTA DE  
*Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (LECYTHIDACEAE),  
VISANDO À PRODUÇÃO DE SEMENTES PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL\***

Alexandre Magno SEBBENN\*\*  
Miguel Luiz Menezes FREITAS\*\*  
Antonio Carlos Scatena ZANATTO\*\*  
Euripedes MORAES\*\*

**RESUMO**

A baixa diversidade genética das espécies em plantio de restauração tem sido apontada como uma limitação ao sucesso destes plantios. O principal objetivo deste estudo foi determinar um esquema mais adequado de seleção dentro de um teste de procedências e progênies de *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), aos 26 anos de idade, estabelecido em Luiz Antônio, São Paulo, para fins de produção de sementes para recuperação ambiental. O teste foi implantado no delineamento experimental de blocos de famílias compactas, com as três procedências (Campinas, Ibicatu e Vassununga), 15 a 17 progênies por procedências, seis repetições e subparcelas de cinco plantas. O ensaio foi mensurado aos 26 anos para os caracteres diâmetro à altura do peito - DAP, altura, volume e forma do fuste. Foram detectadas diferenças significativas entre procedências para os caracteres DAP, altura e volume, e entre progênies dentro de procedências para DAP, altura e forma, indicando que o respectivo teste tem substancial variação genética entre e dentro de procedências. A estimativa da correlação genética entre os caracteres de crescimento foi alta, mostrando uma forte associação genética entre estes caracteres. Os coeficientes de variação genética oscilaram desde 1,44% para forma do fuste até 13,15% para volume, mas os coeficientes de herdabilidades foram relativamente baixos (máximo de 0,27 para forma do fuste). Para combinar o objetivo de conservação *ex situ* com o de produção de sementes para restauração florestal neste ensaio, sugere-se um esquema de seleção dentro de progênies.

Palavras-chave: conservação genética; jequitibá-rosa; coancestria; tamanho efetivo populacional.

**ABSTRACT**

Low genetic diversity has been reported as one of the possible limitations of restoration plantings in achieving their objectives. The main aim of this study was to suggest a selection scheme based on a provenance and progeny test of *Cariniana legalis*, at 26 years of age, established in Luiz Antônio, São Paulo State. The trial was established in a compact family block design with three provenances (Campinas, Ibicatu and Vassununga), 15 to 17 progenies within provenance, six replicates and subplots with five plants. The trial was measured at 26 years of age for the traits diameter at breast height - DBH, height, volume, and stem form. Statistically significant differences among provenances for DBH, height, and volume were detected. Variation among progenies within provenances was detected for DBH, height, and stem form. The estimates of genetic correlations among growth traits showed strong genetic association between traits. The coefficient of genetic variation ranged from 1.44% for stem form to 13.15% for volume, and heritability estimates were relative low (maximum of 0.27 for stem form). In order to combine the objectives of *ex situ* genetic conservation and of seed production in this trial, the selection scheme based on selection only within progeny was suggested.

Keywords: conservation genetics; jequitibá-rosa; coancestry; effective population size.

(\*) Aceito para a publicação em dezembro de 2008.

(\*\*) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

*Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), ou jequitibá-rosa, é uma das maiores árvores da Floresta Atlântica. Pode atingir 60 m de altura e 4 m de diâmetro à altura do peito - DAP; usualmente, contudo, os indivíduos apresentam entre 25 e 35 m de altura e 60 a 100 cm de diâmetro (Carvalho, 1994). *Cariniana legalis* apresenta flores hermafroditas, as quais são polinizadas por abelhas. A reprodução em populações naturais ocorre predominantemente por cruzamentos, embora envolva cruzamentos correlacionados e entre indivíduos aparentados (Sebbenn *et al.*, 2000a). Árvores adultas habitam o estrato superior da floresta, ocorrendo no subtipo Floresta Ombrófila Densa, formação Baixo-Montana e Floresta Estacional Semidecidual, entre as latitudes 08° S (PE) a 23° S (SP) e em altitudes de 30 a 1.000 m (Carvalho, 1994). A espécie é essencialmente de florestas, onde ocorre em pequenos grupos nas baixadas e encostas úmidas. Sua madeira é leve e muito utilizada para tabuados em geral, carpintaria civil e confecção de saltos de sapato, tonéis e mobiliário em geral (Carvalho, 1994). Seu habitat natural foi intensamente destruído nas últimas décadas, tendo restado poucas populações naturais e a espécie encontra-se em perigo de extinção (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 1996). Dentro desse contexto, o Instituto Florestal de São Paulo vem, desde a década de 1980, conservando algumas populações *ex situ*, em testes de procedências e progênies, como uma estratégia para salvar a espécie *Cariniana legalis* da extinção (Siqueira *et al.*, 1986; Sebbenn *et al.*, 2002). No entanto, apenas manter populações *ex situ* em um ou dois bancos genéticos em campo não é garantia da conservação destas populações. Eles podem ser facilmente perdidos por catástrofes naturais como ventos e tornados e/ou devido a fatores antropogênicos, como incêndios florestais.

Uma estratégia para contornar esse problema pode ser a de produzir sementes nesses bancos e utilizá-las em reflorestamentos para recuperação ambiental. Isso, efetivamente, aumentaria a probabilidade de que esses genes, retidos *ex situ*, sejam conservados, visto que estariam em número muito maior de exemplares e locais, reduzindo-se as chances de serem perdidos. Contudo, para produção de sementes, os bancos genéticos implantados em delineamentos experimentais precisam ser manejados no sentido de reduzir as chances de cruzamento entre árvores aparentadas, em especial dentro das parcelas, quando estas são formadas por plantas da mesma progênie. O cruzamento entre irmãos dentro das parcelas gera endogamia biparental igual ao coeficiente de coancestria entre os irmãos cruzados (Lindgren *et al.*, 1996; Sebbenn, 2006). Como se espera uma coancestria mínima de 0,125, em caso de meios-irmãos, mas que pode se estender até 0,5 dentro das parcelas, no caso de irmãos de autofecundação, a endogamia esperada nas sementes poderá estar entre estes valores. A endogamia em espécies arbóreas desencadeia a depressão endogâmica, caracterizada pelo aumento da mortalidade, má formação das árvores, perda de capacidade adaptativa, vigor, fertilidade e redução no crescimento (Snieszko & Zobel, 1988; Kärkkäinen *et al.*, 1996; Koelewijn, 1998; Koelewijn *et al.*, 1999; Hardner & Potts, 1997; Sorensen, 1997; Wu *et al.*, 1998; Remington & O'Malley, 2000; Sebbenn *et al.*, 2001). A seleção de apenas um indivíduo em cada parcela pode, contudo, eliminar a probabilidade de cruzamentos entre parentes nas parcelas, embora não elimine a probabilidade de ocorrerem cruzamentos entre parentes localizados em diferentes parcelas, nem a de autofecundação.

O objetivo deste estudo foi determinar um esquema mais adequado de seleção dentro de um teste de procedências e progênies de *Cariniana legalis*, aos 26 anos de idade, estabelecido em Luiz Antônio, São Paulo, para fins de produção de sementes.

SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local de Ensaio, Amostragem e Delineamento Experimental

O teste de procedências e progênies de *Cariniana legalis* foi implantado em 1982, na Estação Experimental de Luiz Antonio - EELA, com progênies de polinização aberta coletadas em três populações naturais do Estado de São Paulo, de região com tipo climático Cwa (TABELA 1). A EELA está localizada nas coordenadas 21° 40' S, 47° 49' W e altitude de 550 m acima do nível do mar, onde o clima é tropical e a temperatura média do mês mais quente é 22,7°C e do mês mais frio de 17,2°C.

O inverno é seco e a precipitação média anual é de 1.280 mm. O relevo do local é plano, com inclinação em torno de 5% e solo do tipo Latossolo Roxo. O delineamento experimental adotado foi o de blocos de famílias compactas (Wright, 1978), com as procedências alocadas nas parcelas e as progênies dentro de procedências alocadas nas subparcelas. Foram utilizadas seis repetições e subparcelas lineares com cinco plantas. O ensaio foi rodeado por uma bordadura de duas linhas da mesma espécie, seguindo o espaçamento entre plantas de 3 x 2 m. Em 1990, as árvores foram submetidas à desrama, com o intuito de reduzir o número de nós no tronco e posterior estudo do potencial da espécie para a indústria madeireira.

TABELA 1 – Características das populações de *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa) plantadas no banco de conservação *ex situ* em Luiz Antônio, SP.

População	M*	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Área (ha)
Campinas	17	22° 55'	47° 03'	681	10
Ibicatú	16	22° 47'	47° 49'	500	76
Vassununga	17	21° 41'	47° 39'	610	191

(\*) M = tamanho amostral em termos de números de progênies.  
Fonte: Ventura *et al.* (1965/1966).

O ensaio foi avaliado aos 26 anos de idade (2008) quanto à forma do fuste - FF, ao diâmetro à altura do peito - DAP, à altura total - ALT, ao volume real - VOL e à sobrevivência. Os dados de FF foram determinados por critérios subjetivos de notas, atribuindo-se: Nota 1 para tronco com defeito muito grave, bifurcado e muito tortuoso; Nota 2 para tronco com defeito grave, bifurcado e com tortuosidade acima da média; Nota 3 para tronco com defeito bastante visível, sem bifurcação e com tortuosidade média; Nota 4 para tronco com defeito pouco visível, sem bifurcação e com tortuosidade abaixo da média, e Nota 5 para tronco sem defeito, sem bifurcação e tendendo a retidão ou reto. A sobrevivência foi medida pelo número de plantas mortas por subparcela.

### 2.2 Análise Estatística

As análises da variância foram conduzidas utilizando-se o procedimento GLM, do programa estatístico SAS (SAS, 1999), tendo-se usado o modelo estatístico hierárquico:

$$Y_{ijkl} = m + t_i + b_j + (tb)_{ij} + t'_{k(i)} + e_{ijkl}$$

em que:  $Y_{ijkl}$  = valor da planta  $l$ , da progênie  $k$ , na procedência  $i$ , no bloco  $j$ ;  $m$  = média geral do caráter na procedências;  $t_i$  = efeito fixo da procedência  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ );  $b_j$  = efeito fixo do bloco  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ );  $(tb)_{ij}$  = erro experimental em nível de parcelas;  $t'_{k(i)}$  = efeito aleatório da progênie  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ), dentro da procedência  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ );  $e_{ijkl}$  = efeito do erro em nível de subparcela. A partir da análise de variância, foram estimados os componentes de variância, pelo método REML (*Restricted Maximum Likelihood*), em combinação com o comando VARCOMP, do programa estatístico SAS, devido ao desbalanceamento experimental em termos de número de árvores sobreviventes por subparcela e número de progênies dentro de procedências. Os componentes estimados foram:  $\sigma_{p(p)}^2$  = variância genética entre progênies dentro de procedências;  $\sigma_e^2$  = variância devido ao erro experimental;  $\sigma_d^2$  = variância devido a diferenças fenotípicas entre árvores dentro de subparcelas.

A partir desses componentes, foram estimadas a variância fenotípica total ( $\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{p(p)}^2$ ) e a variância genética aditiva,  $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_{p(p)}^2 / \hat{r}_{xy}$ . O coeficiente médio de parentesco dentro de progênies dentro de procedências ( $r_{xy}$ ) foi previamente calculado para o presente ensaio por Sebbenn *et al.* (2002), tendo-se determinado que estas procedências apresentam um sistema misto de reprodução, com taxa de cruzamento variando entre populações de 0,901 a 0,999 e cruzamentos correlacionados variando de 0,213 a 0,324. Portanto, as progênies podem conter misturas de: a) irmãos de autofecundação; b) meios-irmãos e, c) irmãos-completos (Sebbenn *et al.*, 2000a). Como a variância genética aditiva foi estimada em nível de progênies dentro de procedências, utilizou-se o coeficiente de parentesco ( $\hat{r}_{xy} = 0,336$ ) estimado para as progênies de todas as procedências conjuntamente. Assim, a variância genética aditiva foi estimada por:  $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_{p(p)}^2 / 0,336$ . Adicionalmente, para fins de comparação, foram estimadas a variância genética aditiva, herdabilidades e a resposta esperada na seleção, assumindo-se que as progênies foram compostas por verdadeiros meios-irmãos. Isso pressupõe que a população de referência era grande, não apresentava endogamia ou parentescos e que os cruzamentos eram perfeitamente aleatórios. Portanto, neste caso, foi considerado que o coeficiente de parentesco entre plantas dentro de progênies era de 0,25.

As definições e os cálculos dos coeficientes de herdabilidade, dos coeficientes de variação e das correlações entre caracteres seguem Namkoong (1979). Foram estimados os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais ( $h_i^2$ ), em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ) e dentro de progênies ( $h_d^2$ ):

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_{p(p)}^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2}, \quad \hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_{p(p)}^2}{\hat{\sigma}_{p(p)}^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{J} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}J}} \text{ e}$$

$$\hat{h}_w^2 = \frac{(1 - r_{xy})\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}.$$

O coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) foi estimado usando-se a expressão:

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_{p(p)}^2}}{\bar{x}} \times 100$$

As correlações fenotípicas e genéticas entre DAP, altura e volume foram estimadas de acordo com as equações

$$\bar{r}_{xy} = \frac{\bar{\sigma}_{P_x P_y}}{\sqrt{\bar{\sigma}_{P_x}^2 \bar{\sigma}_{P_y}^2}} \text{ e } \bar{r}_{g_{xy}} = \frac{\bar{\sigma}_{g_x g_y}}{\sqrt{\bar{\sigma}_{g_x}^2 \bar{\sigma}_{g_y}^2}},$$

em que: 1)  $r_{P_{xy}}$  e  $r_{g_{xy}}$  são os coeficientes de correlação fenotípica e genética; 2)  $\sigma_{P_x P_y}$  e  $\sigma_{g_x g_y}$  são os produtos cruzados fenotípicos e genéticos dos caracteres  $x$  e  $y$ , estimados das análises de covariância, e 3)  $\sigma_{P_x}^2$ ,  $\sigma_{g_x}^2$  e  $\sigma_{P_y}^2$ ,  $\sigma_{g_y}^2$  são as variâncias fenotípicas e genéticas dos caracteres  $x$  e  $y$ , respectivamente.

A resposta esperada com a seleção dentro de progênies ( $R_d$ ) foi calculada usando-se a expressão:

$$\hat{R}_d = i_d \hat{\sigma}_d \hat{h}_d^2,$$

em que,  $i_d$  é a intensidade de seleção em unidade de desvio-padrão aplicada dentro de progênies e determinada segundo Hallauer & Miranda Filho (1988) e  $\sigma_d$  é o desvio-padrão da variância fenotípica dentro de progênies. Para a transformação do teste de procedências e progênies em um pomar de sementes por mudas, capaz de produzir sementes com ampla base genética, foi simulada a seleção de uma ( $i_d = 2,04$ ), duas ( $i_d = 1,83$ ), três ( $i_d = 1,673$ ), quatro ( $i_d = 1,55$ ) e cinco ( $i_d = 1,446$ ) plantas por progênie. A resposta à seleção, em porcentagem, [ $\hat{R}$  (%)] foi estimada como:  $\hat{R}(\%) = 100(\hat{R}_d / \bar{x})$ , em que  $\bar{x}$  é a média do caráter.

A população, após a seleção, foi caracterizada em termos do coeficiente de coancestria do grupo ( $\Theta_{xy}$ ), que se refere à endogamia que poderia ser gerada por cruzamentos aleatórios nas sementes coletadas no teste após a seleção.

SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

O coeficiente de coancestria foi estimado baseado na representação das progênies, segundo Lindgren *et al.* (1997), em que

$$\hat{\Theta}_{xy} = \frac{0,5(1 + \hat{F}_p)nm + \hat{\theta}_{xy}mn(n-1)}{(nm)^2},$$

sendo  $m$  o número de progênies selecionadas,  $n$  o número de plantas selecionadas dentro de progênies,  $F_p$  o coeficiente de endogamia na população, considerando como zero ( $\hat{F}_p = 0$ ) e  $\theta_{xy}$  o coeficiente de coancestria dentro de progênies, estimado em 0,168. O tamanho efetivo ( $N_e$ ) foi estimado como a metade do coeficiente de coancestria de grupo (Lindgren *et al.*, 1996),  $\hat{N}_e = 0,5 / \hat{\Theta}_{xy}$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variação Entre Progênies

Com base no teste F da análise da variância, detectaram-se variações altamente significativas (99% de probabilidade) entre as

procedências quanto ao DAP, à altura e ao volume (TABELA 2). Em prévias análises do presente ensaio, nas idades de 6, 11 e 14 anos, também foram detectadas diferenças altamente significativas em DAP e altura (Sebbenn *et al.*, 2000b). Aos 18 anos de idade nenhuma variação significativa foi observada entre essas procedências em DAP, altura, volume e forma (Sebbenn *et al.*, 2002). A detecção de variação entre procedências, aos 26 anos de idade, sugere que existem variações genéticas entre essas procedências, que poderiam ser exploradas em programas de melhoramento, mediante seleção e, ainda, que a estratégia amostral para conservação *ex situ* foi eficaz na captura da variação genética desses caracteres entre procedências. Observando-se a média individual dos caracteres para as três procedências (TABELA 2), verifica-se que a procedência Campinas apresentou o maior crescimento para todos os caracteres, além da melhor forma do fuste, seguida da procedência Ibicatu. Contudo, a diferença no crescimento médio dos caracteres entre essas procedências foi relativamente baixa. A procedência Campinas superou o crescimento da procedência Vassununga em 9,4% para o DAP, 6,3% para altura, 17,5% para o volume e 4,5% para a forma do fuste.

TABELA 2 – Análise de variância em DAP, altura, volume, forma do fuste (forma) e sobrevivência (Sobre) de *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), aos 26 anos, em Luiz Antônio, SP.

Quadrados Médios						
Fonte de Variação	GL	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma	Sobre (%)
Blocos	5	14,3866	5,5189	0,0165	0,1925	2,9124**
Procedências	2	332,1889**	120,1807**	0,2355**	0,1156	0,5552
Progênies/Procedência	48	60,4797*	21,1624*	0,0564	0,1377**	0,5731
Erro entre	245	42,1912	15,8383	0,0382	0,0910	0,8407
Dentro	973	44,1346	15,2584	0,0437	0,0830	–
Médias						
Campinas		17,0	15,9	0,2291	3,10	85,9
Ibicatu		15,8	15,2	0,1937	3,05	80,6
Vassununga		15,4	14,9	0,1889	2,96	88,0
Todas as procedências		16,1	15,3	0,2042	3,04	84,9
Incremento médio anual (IMA)		0,62	0,57	0,0008	–	–

(\*)  $P \leq 0,05$ .

(\*\*)  $P \leq 0,01$ .

O teste F da análise de variância também revelou variações significativas entre progênies dentro de procedências em DAP, altura e forma do fuste (TABELA 2), indicando a presença de variação genética entre progênies e a possibilidade de serem obtidos progressos genéticos com a seleção entre progênies dentro de procedências. Esse resultado confirma o previamente observado, aos 17 anos de idade neste mesmo experimento, que mostrou variações altamente significativas entre progênies dentro de procedências em DAP, altura, volume e forma do fuste (Sebbenn *et al.*, 2002) e sugere que o material tem potencial para o melhoramento genético via seleção, bem como para conservação *ex situ*, visto que retém variação genética das populações de origem.

### 3.2 Sobrevivência

A sobrevivência das árvores foi alta aos 26 anos de idade, variando de 80,6 a 88% entre as procedências, com média de 84,9% (TABELA 2), o que indica uma boa capacidade de adaptação às condições de Luiz Antônio. Esses valores são inferiores aos observados aos 17 anos, neste mesmo experimento (Sebbenn, 2001), quando foi observada mortalidade variando entre procedências de 81,4 a 89,2%, com média de 85,7%.

Portanto, nos últimos nove anos, a taxa de mortalidade foi baixa. A seleção natural contra indivíduos endogâmicos é a provável causa desse padrão. A eliminação desses indivíduos é, provavelmente, maior nos primeiros anos de plantio, reduzindo-se após alguns anos.

### 3.3 Crescimento das Árvores

Comparando o incremento médio anual (IMA) em DAP (0,62 cm) e altura (0,57 m) com o observado em outras espécies arbóreas crescendo no mesmo local de experimentação, *Cariniana legalis* apresentou, aos 26 anos de idade, uma baixa taxa de crescimento, superando apenas *Cordia alliodora* (TABELA 3, FIGURA 1). Por outro lado, *Cariniana legalis* apresentou uma forma de fuste tendendo à retidão (3,04). Em comparação às espécies listadas na TABELA 3, a forma do fuste de *Cariniana legalis* foi inferior apenas à de *Cordia trichotoma* (3,3) e à de *Araucaria cunninghamii* (3,26). O crescimento lento, embora seja uma característica desfavorável à silvicultura por gerar menos receita anual, é uma característica favorável à formação de madeira de alta qualidade. Adicionalmente, a forma do fuste de *Cariniana legalis*, que tende à retidão, é uma característica favorável à produção de madeira serrada.

TABELA 3 – Crescimento e forma do fuste em procedências e progênies de algumas espécies florestais plantadas na Estação Experimental de em Luiz Antônio, SP.

Amostra	Idade (anos)	DAP (cm) [IMA]	Altura (m) [IMA]	Forma do fuste	Autores
<b>Espécies nativas</b>					
<i>Cariniana legalis</i>	26	16,1 [0,62]	15,3 [0,57]	3,04	Este trabalho
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	21	15,2 [1,00]	20,9 [0,72]	1,94	Sebbenn <i>et al.</i> (2007)
<i>Cordia trichotoma</i>	19	25,0 [1,32]	22,1 [1,17]	3,30	Freitas <i>et al.</i> (2006)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	17	13,1 [0,77]	11,5 [0,68]	1,40	Freitas <i>et al.</i> (2007)
<b>Espécies exóticas</b>					
<i>Araucaria cunninghamii</i>	20	19,2 [0,96]	19,7 [0,98]	3,26	Sebbenn <i>et al.</i> (2005)
<i>Eucalyptus resinifera</i>	21	38,6 [1,84]	22,5 [1,07]	–	Sato <i>et al.</i> (2007)
<i>Cordia alliodora</i>	23	11,7 [0,51]	8,8 [0,38]	1,98	Sebbenn <i>et al.</i> (2007)

IMA = incremento médio anual.

SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

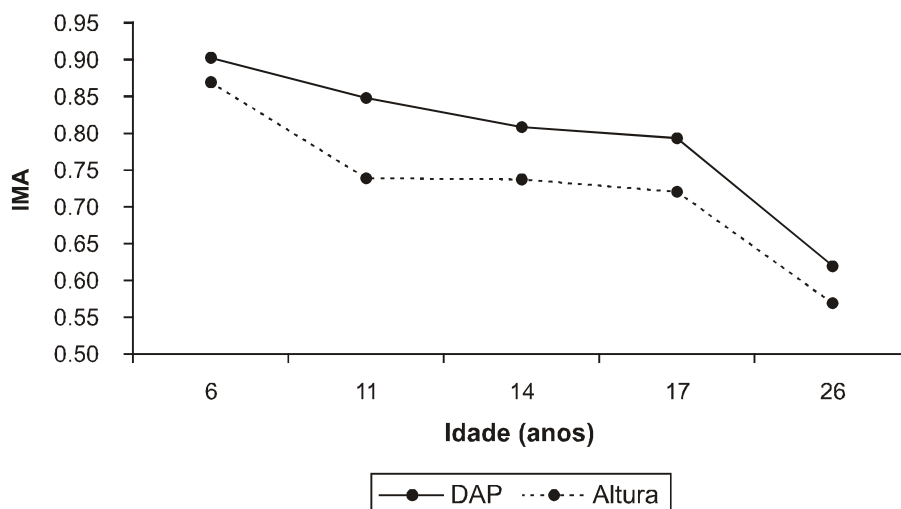


FIGURA 1 – Tendência de incremento médio anual (IMA) ao longo das idades em DAP e altura, em *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), na Estação Experimental de Luiz Antônio–SP.

### 3.4 Correlações Fenotípicas e Genéticas

As estimativas das correlações fenotípicas e genéticas (TABELA 4) mostraram valores positivos, altamente significativos e altos entre DAP, altura e volume, sugerindo a possibilidade de seleção indireta em um caráter, pela seleção direta em outro. As correlações genéticas foram,

geralmente, maiores do que as fenotípicas, com exceção da correlação entre DAP e altura ( $\hat{r}_g = 0,87$ ), que foi menor que a fenotípica ( $\hat{r}_F = 0,96$ ). Em relação ao caráter mais indicado para a seleção direta, o DAP deve ser escolhido, considerando a maior precisão e a facilidade de mensuração.

TABELA 4 – Correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_F$ ) entre caracteres, em progênies de *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), crescendo em Luiz Antônio, SP

	$\hat{r}_g$	$\hat{r}_F$
DAP x Altura	0,87**	0,96**
DAP x Volume	0,93**	0,95**
Altura x Volume	0,92**	0,84**

(\*\*)  $P \leq 0,01$ .

### 3.5 Parâmetros Genéticos

Os coeficientes de variação genética ( $CV_g$ ) estimados (TABELA 5) mostraram que o material genético conservado *ex situ* reteve parte substancial da variação genética das respectivas populações de origem quanto a estes caracteres. Isso indica, também, que o material tem potencial para o melhoramento genético, uma vez que a presença de variação genética é fundamental para a seleção de genótipos superiores. Em comparação ao  $CV_g$  detectado em outras espécies nativas,

a magnitude da variação genética nas populações de *Cariniana legalis* encontra-se dentro do padrão observado nestas espécies. Por exemplo, Freitas *et al.* (2007) encontraram coeficientes de variação genética similares aos observados neste trabalho, em DAP (6,3%), forma de fuste (1,4%) e volume (12,9%) em *Myracrodruon urundeuva*. Sebbenn *et al.* (2007) observaram, em *Balfourodendron riedelianum*, coeficientes de variação genéticos de 3,98% em DAP, 1,02% em altura, 9,04% em volume e 0,36% em forma do fuste.

TABELA 5 – Estimativa de parâmetros genéticos de DAP, altura, volume real e forma do fuste em *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), em Luiz Antônio–SP.

Parâmetros	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma
Coefficiente de variação genética – $CV_g$ (%)	5,35	3,15	13,15	1,44
Herdabilidade individual – $\hat{h}_i^2$	0,0498	0,0446	0,0497	0,0660
Herdabilidade entre progênies – $\hat{h}_m^2$	0,2345	0,2100	0,2340	0,2709
Herdabilidade dentro de progênies – $\hat{h}_d^2$	0,0337	0,0303	0,0335	0,0457

Os coeficientes de herdabilidade (TABELA 5) foram calculados levando-se em consideração o sistema de cruzamento que deu origem às sementes utilizadas neste ensaio e foram relativamente baixos para todos os caracteres. O coeficiente de herdabilidade em nível de média de progênies ( $\hat{h}_m^2$ ) variou de 0,2100 (altura) a 0,2707 (volume), indicando um baixo controle genético dos caracteres em nível de média de progênies. Isso também indica que, com a seleção entre progênies, os ganhos possíveis seriam baixos, a não ser que fosse utilizada uma alta intensidade de seleção entre progênies. Contudo, como este teste tem a finalidade de conservar procedências de *Cariniana legalis*, não será feita seleção entre progênies, mas apenas dentro de progênies. Os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais ( $\hat{h}_i^2$ ) e dentro de progênies ( $\hat{h}_d^2$ ) foram baixos para todos os caracteres, variando de 0,0303 (altura) a 0,066 (forma do fuste), indicando que, mesmo com seleção massal no teste ou dentro de progênies, haverá poucos ganhos genéticos. A diversidade genética retida no teste poderá ser conservada de forma mais efetiva se houver recombinação por polinização livre ou manual e se as sementes forem utilizadas para reflorestamentos ambientais. Considerando que esse germoplasma foi conservado *ex situ* em um delineamento com parcelas compostas por cinco plantas, com indivíduos aparentados nos graus de meios-irmãos e irmãos de autofecundação (Sebbenn *et al.*, 2000a), é necessário selecionar apenas uma planta em cada parcela para reduzir a endogamia nas sementes. Isso elimina a chance de ocorrer cruzamentos entre irmãs da mesma parcela, mas não a chance de ocorrer cruzamentos entre irmãos localizados em diferentes parcelas, nem as autofecundações.

Como a redução no tamanho das populações reduz o tamanho efetivo da população, avaliou-se o impacto da seleção de uma a seis plantas em cada progênie sobre a estimativa do coeficiente médio de coancestria, do tamanho efetivo (TABELA 6) e dos ganhos esperados na seleção (FIGURA 2).

O coeficiente médio de coancestria (TABELA 6) no ensaio sem desbaste foi baixo (0,00358), indicando que, sob cruzamentos aleatórios, uma baixa taxa de endogamia seria produzida nas progênies (< 1%). Contudo, a presença de indivíduos irmãos nas parcelas poderia aumentar essa taxa de endogamia, em especial se o pólen for disperso preferencialmente a curtas distâncias. Com a seleção dentro de progênies, reduz-se a probabilidade de cruzamentos entre irmãos, mas aumenta o coeficiente médio de coancestria de 0,00447, com a seleção de seis plantas por progênie (uma planta por parcela) a 0,01 para a seleção de uma planta por subparcela. Por sua vez, o tamanho efetivo médio de cada progênie, bem como o total, são reduzidos de 2,24 e 112 para 1 e 50, respectivamente. No entanto, embora o tamanho efetivo tenha sido reduzido em mais de 50% com a seleção, a relação entre o tamanho efetivo e o número censo aumentou de 0,37 a 1. Embora o número de indivíduos tenha sido reduzido com a seleção, aumentou o tamanho efetivo devido à redução na identidade por descendência dos alelos entre esses selecionados. Tendo isso em vista, é sugerida a seleção de seis plantas por progênie, visto que este esquema de seleção levará a uma redução menor no tamanho efetivo total do banco (de 140 para 112). Além disso, será eficaz para evitar cruzamentos entre parentes dentro das subparcelas, já que apenas uma planta em cada cinco nas subparcelas será mantida, resultando na manutenção de um maior número de indivíduos na população para a produção de sementes.



SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

TABELA 6 – Estimativa de parâmetros genéticos populacionais em *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), com simulações da seleção de diferentes números de plantas por progênie.

Parâmetros	Número de plantas selecionadas por progênie (n)						
	30	6	5	4	3	2	1
$mn$	1500	300	250	200	150	100	50
$\Theta_{xy}$	0,00358	0,00447	0,00469	0,00502	0,005573	0,00668	0,01000
$N_e$	2,79	2,24	2,13	1,99	1,79	1,50	1,00
$N_{e(Total)}$	140	112	107	100	90	75	50
$N_{e(Total)} / mn$	0,09	0,37	0,43	0,50	0,60	0,75	1,00

Em que:  $mn$  é o tamanho da população de recombinação após a seleção;  $\Theta_{xy}$  é o coeficiente de coancestria de grupo;  $N_e$  é o tamanho efetivo médio das progênies e total, e  $N_{e(Total)} / mn$  é a relação entre o tamanho efetivo total e o tamanho da população após a seleção.

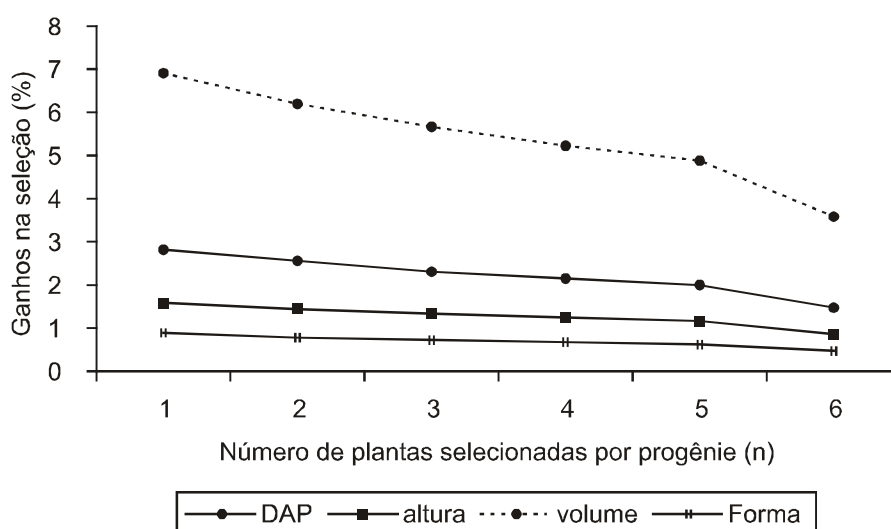


FIGURA 2 – Ganhos esperados na seleção dentro de progênies de diferentes caracteres em função do número de plantas selecionadas por progênie em *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa), em Luiz Antônio–SP.

Com a seleção apenas dentro de progênies, esperam-se baixos ganhos com a escolha de uma a cinco plantas por parcela em forma do fuste (< 1%), altura (< 2%); ganhos médios em DAP (de 1,46 a 2,8%) e relativamente altos em volume (3,6 a 6,9%) (FIGURA 2). Os maiores ganhos serão obtidos com a

seleção do menor número de plantas por progênie (maior intensidade de seleção). Por exemplo, com a seleção de uma planta por progênie, o ganho esperado em volume é de 7%, mas, com a seleção de seis plantas por progênie (uma por subparcela), os ganhos esperados para volume são de apenas 4%.

SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

Estes ganhos são preditos para povoamentos de *Cariniana legalis* aos 26 anos de idade, estabelecidos em ambientes com as mesmas características edafoclimática do presente ensaio e realizados com sementes originadas do teste após a seleção dentro de progênies. Com a seleção proposta, de seis plantas por progênie (uma planta por subparcela), a estrutura genética da população de recombinação será pouco afetada e a conservação genética, que foi o principal objetivo deste ensaio, não será afetada.

#### 4 CONCLUSÃO

O esquema de seleção proposto, a seleção apenas dentro de progênies, sendo seis plantas selecionadas por progênie, levará à capitalização de baixos ganhos genéticos, pouco afetando a estrutura genética da população de recombinação, assim como o principal objetivo deste ensaio, que é a conservação genética de *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa).

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos funcionários Paulo, Teco e Jair, pela mensuração do experimento e digitação dos dados, e à relatora da Revista do Instituto Florestal, PqC Dra. Giselda Durigan, pela contribuição com as correções e dicas para melhoria do manuscrito. O autor Alexandre Magno Sebbenn agradece ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia - CNPq pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira.** Brasília, DF: EMBRAPA; Colombo: CNPF, 1994. 640 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Panel of Experts and Forest Gene Resources. Ninth Session.** Rome, 1996. 64 p.

FREITAS, M. L. M. *et al.* Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 95-102, 2006.

\_\_\_\_\_. Formação de pomar de sementes a partir da seleção dentro de teste progênies de *Myracrodruon urundeuva*. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2007.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding.** Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HARDNER, C. M.; POTTS, B. M. Postdispersal selection following mixed mating in *Eucalyptus regnans*. **Evolution**, San Francisco, v. 51, n. 1, p. 103-111, 1997.

KÄRKKÄINEN, K.; KOSKI, V.; SAVOLAINEN, O. Geographical variation in the inbreeding depression of Scots pine. **Evolution**, San Francisco, v. 50, n. 1, p. 111-119, 1996.

KOELEWIJN, H. P. Effects of different levels of inbreeding on progeny fitness in *Plantago coronopus*. **Evolution**, San Francisco, v. 52, n. 3, p. 692-702, 1998.

\_\_\_\_\_; KOSKI, V.; SAVOLAINEN, O. Magnitude and timing of inbreeding depression in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). **Evolution**, San Francisco, v. 53, n. 3, p. 758-768, 1999.

LINDGREN, D.; GEA, L.; JEFFERSON, P. Loss of genetic diversity by status number. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, p. 52-59, 1996.

\_\_\_\_\_; LUIGI, D. G.; JEFFERSON, P. A. Status number for measuring genetic diversity. **Forest Genetics**, Svolen, v. 4, n. 2, p. 69-76, 1997.

NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry.** Washington, D.C.: Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).

REMYINGTON, D. L.; O'MALLEY, D. M. Evaluation of major genetic loci contributing to inbreeding depression for survival and early growth in a selfed family of *Pinus taeda*. **Evolution**, San Francisco, v. 54, n. 5, p. 1580-1589, 2000.

SEBBENN, A. M. *et al.* Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental.

S.A.S. INSTITUTE INC. **SAS procedures guide. Version 8 (TSMO)**. Cary, 1999. 454 p.

SATO, A. S. *et al.* Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antonio – SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 93-100, 2007.

SEBBENN, A. M. **Estudo de populações de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze, por caracteres quantitativos e isoenzimas**. 2001. 209 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

\_\_\_\_\_. Sistema de reprodução em espécies arbóreas tropicais e suas implicações para a seleção de árvores matrizes para reflorestamentos ambientais. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. D. **Pomares de sementes de espécies florestais nativas**. Curitiba: FUPED, 2006. p. 93-138.

SEBBENN, A. M. *et al.* Taxa de cruzamento em populações de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze.: Implicações para a conservação e o melhoramento genético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 58, p. 25-40, 2000a.

SEBBENN, A. M. *et al.* Depressão por endogamia em populações de jequitibá-rosa. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 61-81, 2001.

SEBBENN, A. M. *et al.* Genetic variation in *Araucaria cunninghamii* provenances in Luiz Antonio-SP, Brazil **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa–MG, v. 5, p. 435-442, 2005.

SEBBENN, A. M. *et al.* Conservação *ex situ* e produção de sementes em banco de germoplasma de *Balfourodendron riedelianum*. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 101-112, 2007.

SEBBENN, A. M. *et al.* Results of an international provenance trial of *Cordia alliodora* in São Paulo, Brazil at five and 23 years of age. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 56, n. 3-4, p. 110-117, 2007.

SEBBENN, A. M.; KAGEYAMA, P. Y.; ZANATTO, A. C. S. Estimativas de ganhos genéticos na seleção em populações de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze, incorporando informações do sistema misto de reprodução. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 65-77. 2002.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; GURGEL GARRIDO, L. M. A. Interação progênies x locais e variabilidade genética em jequitibá-rosa - *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 13-23, 2000b.

SIQUEIRA, A. C. M. F. *et al.* O jequitibá-rosa - *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze. uma espécie em extinção. **Bol. Técn. IF**, São Paulo, v. 40-A, p. 291-301, 1986, pt. 1, Edição especial.

SNIEZKO, R. A.; ZOBEL, B. J. Seedling height and diameter variation of various degrees of inbred and outcrossing progenies of Loblolly Pine. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, p. 50-60, 1988.

SORENSEN, F. C. Effects of sib mating and wind pollination on nursery seedling size, growth components, and phenology of Douglas-Fir seed-orchard progenies. **Canadian Journal Forestry Research**, Toronto, v. 27, p. 557-566, 1997.

VENTURA, A.; BERENGUT, G.; VICTOR, M. A. M. Características edafoclimáticas das dependências do Serviço Florestal do Estado de São Paulo. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo v. 4, p. 57-139, 1965/1966.

WRIGHT, J. W. A simplified design for combined provenance and progeny testing. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 27, n. 2, p. 68-70, 1978.

WU, H. X.; MATHESON, A. C.; SPENCER, D. Inbreeding in *Pinus radiata*. 1. The effect of inbreeding on growth, survival and variance. **Theor. Appl. Genet.**, Berlin, v. 97, p. 1256-1268, 1998.