

VARIAÇÃO GENÉTICA ENTRE E DENTRO DE PROCEDÊNCIAS E PROGÊNIES DE *Araucaria angustifolia* NO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO*

Alexandre Magno SEBBENN**

Ananias de Almeida Saraiva PONTINHA**

Edegar GIANNOTTI**

Paulo Yoshio KAGEYAMA***

RESUMO

Foram comparadas 110 progênies de polinização aberta de cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Itapeva, SP, para fins de conservação e seleção. Os dados envolviam medidas de sobrevivência e altura nas idades de um, três, cinco e dezoito anos e DAP e volume aos dezoito anos. As análises de variância evidenciaram variações altamente significativas ($P < 0,01$) entre procedências em todos os caracteres e entre progênies/procedência em altura, DAP e volume em todas as idades. As variações entre procedências acomodaram de 28,8% a 4,5% da variação total; as variações entre progênies/procedência acomodaram de 21% a 5% e a variação dentro de progênies/procedência de 51,3% a 92,0% da variação total. A avaliação dos caracteres de crescimentos indicou as procedências Cunha, SP, e Itararé, SP, como as de maior crescimento em Itapeva e a procedências Bom Jardim da Serra, SC, como menor crescimento. O crescimento em volume da procedência Cunha foi 65% superior ao da procedência Bom Jardim da Serra. As estimativas dos coeficientes de herdabilidade, aos 18 anos de idade, variaram de 0,226 a 0,654, indicando forte controle genético dos caracteres e grandes possibilidades de sucesso com a seleção. Sugere-se uma estratégia que combine os objetivos de conservação e de melhoramento genético que implique em progresso genéticos, em Itapeva, aos 18 anos de idade, de até 20% em volume.

Palavras-chave: conservação *ex situ*; melhoramento genético; correlações genéticas; parâmetros genéticos; seleção, herdabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. (Araucariaceae) ou pinheiro-do-paraná é uma conífera dióica, polinizada pelo vento que se distribui naturalmente no Brasil entre altitudes de 500 m a 2.300 m e latitudes 19°15'S. (Conselheiro Pena – MG) a 31°39'S. (Canguçu – RS) e longitudes de 41°30'W. até 54°30'W., ocorrendo também em pequenas manchas na Argentina e Paraguai (Carvalho, 1994).

ABSTRACT

Comparisons were made among 110 open-pollinated families of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. from five provenances in Itapeva-SP. Data involved one, three, five and 18-years survival and height and 18-years DBH and volume. Analyses of variance evidenced significant variation among provenances ($P < 0.01$) at all ages studied as well as among families within provenances for height, DBH and volume. Genetic variation among provenances accounted for about 28.8% to 4.5% of the total variance; variation among families within provenances accounted for 21% to 5% and within families accounted for 51.3% to 92.0% of the total variance. The evaluation of height, DBH and volume showed Cunha, SP, and Itararé, SP, provenances to have the fastest growth and the Bom Jardim da Serra with the slowest. Volume growth, rate at 18 years old of Cunha provenance was about 65% higher than Bom Jardim da Serra. Estimations of heritabilities ranged from 0.226 to 0.654, indicating high possibilities of genetic gain through selection. A combined conservation and breeding strategy is suggested, with expected genetic gains of about 20% in volume at 18 years old.

Key words: *ex situ* conservation; genetic breeding; genetic correlation; genetic parameters; selection, heritabilities.

A espécie é exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), nas formações Aluvial (galeria), Submontana, Montana e Alto-Montana. As árvores podem atingir 50 m de altura e 250 cm de DAP. O crescimento inicial é lento, porém, a partir do terceiro ano, em sítios adequados, apresenta incremento médio anual em altura de 1 m e, a partir do quinto ano, incremento médio em DAP de 1,5 a 2,0 cm. O incremento em volume pode atingir 30 m³/ha/ano.

(*) Aceito para a publicação em novembro de 2003.

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

(***) ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

Em solos férteis e sob espaçamento adequado a rotação para desdobro pode ocorrer a partir dos 15 anos. A madeira é de alta qualidade para construções em geral, laminados, móveis, caixotarias, lápis, compensados e celulose e papel. Os pinhões (sementes) são fonte de alimento para o homem e animais (Carvalho, 1994). Apesar de sua grande utilidade e valor econômico, ecológico e social, a espécie foi explorada de forma não sustentada, assim, ainda na década de setenta do século passado, entrou na lista das espécies ameaçadas de extinção (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 1972).

A ampla distribuição geográfica de *A. angustifolia*, provavelmente contribuiu para sua diferenciação em raças geográficas ou ecótipos (Gurgel & Gurgel Filho, 1965). Estudos de procedências de *A. angustifolia* em diversos ambientes têm detectado a existência de diferenças genéticas entre origens geográficas (Gurgel & Gurgel Filho, 1965, 1973; Baldanzi *et al.*, 1973; Kageyama & Jacob, 1980; Shimizu & Higa, 1980; Timoni *et al.*, 1980; Shimizu, 1999). Entretanto, a maioria destes trabalhos foi conduzida procurando avaliar apenas o efeito de procedência ou origem das sementes. Com exceção de poucos estudos (Sousa, 2000; Shimizu *et al.*, 2000; Auler *et al.*, 2002), pouco é conhecido sobre a variabilidade genética intrapopulacional.

A combinação de procedências e progênes em um mesmo ensaio permite detectar e avaliar, além dos efeitos de origem das sementes (procedências) o efeito materno (progênes) presente dentro de cada origem. As principais vantagens desse tipo de ensaio são a redução no tempo para obtenção de árvores superiores (Wright, 1978) e capitalização de ganhos em três níveis de seleção: *i*) entre procedências; *ii*) entre progênes dentro das melhores procedências, e *iii*) entre as melhores árvores das melhores progênes das melhores procedências. Do ponto de vista de conservação, os testes combinando progênes e procedências podem reter grande parte da variação genética de uma espécie, dentro de um simples banco e ser utilizado para fins de melhoramento, quando for conveniente.

Este estudo objetivou avaliar a variação genética em 110 progênes de polinização aberta de cinco procedências de *A. angustifolia*, sendo três do Estado de São Paulo e duas de Santa Catarina, nas condições da Estação Experimental de Itapeva, para dois propósitos: *i*) conservação, e *ii*) melhoramento genético.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem e Delineamento Experimental

Sementes de polinização aberta foram coletadas, em 1981, de 14 a 26 árvores, espaçadas por pelo menos 100 m entre si, em cinco populações naturais de *A. angustifolia*, sendo três no Estado de São Paulo e duas em Santa Catarina (TABELA 1). Na coleta, a identidade das progênes foi mantida. As sementes foram germinadas em sacos de polietileno e, em 1982, transplantadas para o campo.

O experimento foi estabelecido em um local, na Estação Experimental de Itapeva, do Instituto Florestal de São Paulo, localizada nas coordenadas 24°17'S., 48°54'W. e a 930 m de altitude. O clima do local é tropical, o inverno vai de junho a setembro, é seco e a maioria das chuvas ocorre no verão. A temperatura média anual é de aproximadamente 18,6°C e a precipitação média anual é de 1.300 mm. O delineamento experimental adotado foi de blocos de famílias compactas (Compact family block design, Wright, 1978) com três repetições, cinco procedências (parcelas), 14 a 26 progênes/procedência (subparcelas) e 10 plantas por subparcela, segundo o espaçamento 3 m x 2 m. Para reduzir o efeito de borda sobre os tratamentos foram utilizadas duas linhas de bordadura com a mesma espécie.

O ensaio foi avaliado quanto à altura e sobrevivência nas idades de um (ALT1; SOB1), três (ALT3; SOB3), cinco (ALT5; SOB5) e dezoito anos (ALT18; SOB18). Aos 18 anos de idade, foram tomadas também medidas de DAP (diâmetros à altura do peito - DAP18). A partir da altura e do DAP, aos 18 anos de idade, foi calculado o volume sem casca (VOL18), com base em Machado citado por Shimizu (1999):

$$VSC = 0,01765474 + 0,3966295d^2h.$$

Os dados de sobrevivência foram transformados para $\sqrt{sob + 0,5}$, sendo *sob* a proporção de árvores sobreviventes em cada subparcela, para a análise da variância, realizada em nível de média de subparcelas.

TABELA 1 – Tamanho amostral e coordenadas geográficas de cinco procedências de *A. angustifolia*, plantadas em teste de procedências e progênes em Itapeva, SP.

Procedência	Nº. de progênes	Lat. (° S)	Long. (° W)	Alt. (m)	Prec. (mm)	Temp. Média	
						Máx. °C	Mín. °C
1 Campos do Jordão – SP	26	22°44'	45°30'	1.630	1.891	22,0	15,0
2 Cunha – SP	14	23°14'	43°03'	970	2.000	20,6	14,1
3 Itararé – SP	21	24°30'	49°10'	930	1.500	22,0	18,0
4 Bom Jardim da Serra – SC	25	28°18'	49°32'	800	1.600	17,3	9,2
5 São Joaquim – SC	24	28°19'	49°52'	1.380	1.593	17,3	9,1

Lat. = latitude; Long. = longitude; Alt. = altitude; Prec. = precipitação; Temp. média = temperatura média; Máx. = máxima; Mín. = mínima.

2.2 Análise e Estimativa de Componentes da Variância

As análises da variância foram efetuadas seguindo os procedimentos apontados por Zheng *et al.* (1994). Como o experimento era desbalanceado, devido ao número desigual de árvores sobreviventes por subparcelas e ao desigual número de progênes por procedência, utilizou-se o método de REML (Restricted Maximum Likelihood) do programa estatístico SAS (SAS, 1999) para estimar os componentes da variância, combinado com o comando VARCOMP. Os valores perdidos foram estimados e os componentes da variância ajustados para estes. Para análise de variância e estimativa de componentes de variância, adotou-se o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + b_i + t_j + f_{j.k} + (tb)_{ij} + (fb)_{j.ki} + e_{ijk}$$

em que, Y_{ijkl} é o valor fenotípico do l -ésimo indivíduo da k -ésima progênie da j -ésima procedência na i -ésima repetição; μ é o termo fixo da média total; b_i é o efeito aleatório da i -ésima repetição; t_j é o efeito aleatório da j -ésima procedência; $f_{j.k}$ é o efeito aleatório da k -ésima progênie na j -ésima procedência; $(tb)_{ij}$ é o efeito da interação entre a j -ésima procedência e a i -ésima repetição; $(fb)_{j.ki}$ é o efeito da interação entre a k -ésima progênie da j -ésima procedência e a i -ésima repetição; e_{ijkl} é o efeito da l -ésima árvore dentro da k -ésima progênie da j -ésima procedência na i -ésima repetição. Esta última inclui os efeitos do erro; $i = 1 \dots b$ (b é o número de repetições); $j = 1 \dots t$ (t é o número de procedências);

$k = 1 \dots f$ (f é o número de progênes dentro das procedências); $l = 1 \dots n$ (n é o número de árvores por progênie). Com exceção da média, todos os efeitos foram assumidos como aleatórios.

Os componentes de variância estimados foram: $\hat{\sigma}_p^2$ = variância genética entre procedências; $\hat{\sigma}_f^2$ = variância entre progênes/procedências; $\hat{\sigma}_e^2$ = variância da interação entre progênes por procedências (variância ambiental); $\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica dentro de progênes.

2.3 Estimativa de Parâmetros Genéticos

Os cálculos da variância genética e fenotípica, herdabilidades, correlações genéticas, ganhos esperados pela seleção e erro padrão das herdabilidades foram efetuados conforme os procedimentos apresentados por Namkoong (1979). As progênes foram consideradas como sendo meios-irmãos e a variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_A^2$) foi estimada por $\hat{\sigma}_A^2 = 4\hat{\sigma}_f^2$, em que $\hat{\sigma}_f^2$ é a variância genética entre progênes dentro de procedências.

O coeficiente de variação genética (CV_g) foi estimado por,

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_f^2}}{\bar{x}} \times 100$$

em que, \bar{x} é a média do caráter.

Os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais (\hat{h}_i^2), média de progênies (\hat{h}_m^2) e dentro de progênies (\hat{h}_d^2) foram estimados por:

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_F^2}, \quad \hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_f^2}{\frac{\hat{\sigma}_d^2}{nb} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{b} + \hat{\sigma}_f^2}, \quad \hat{h}_d^2 = \frac{(3/4)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}$$

em que, $\hat{\sigma}_F^2$ é a variância fenotípica total estimada por $\hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_f^2$.

As correlações genéticas entre os caracteres foram estimadas para árvores individuais de acordo com a expressão:

$$\hat{r}_{g,xy} = \frac{\hat{\sigma}_{f_x f_y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{f_x}^2 \hat{\sigma}_{f_y}^2}}$$

em que, $\hat{r}_{g,xy}$ é o coeficiente de correlação genético; $\sigma_{f_x f_y}$ é o produtório genético dos caracteres x e y ; $\hat{\sigma}_{f_x}^2$ e $\hat{\sigma}_{f_y}^2$ são as variâncias genéticas entre progênies/procedência dos caracteres x e y , respectivamente.

A correlação genética para os mesmos caracteres, entre diferentes idades, foi obtida da mesma forma que as estimadas entre caracteres, considerando medidas em diferentes idades como caracteres distintos.

A associação entre caracteres e características dos locais de origem das procedências foi estimada pelo coeficiente de correlação de Spearman (\hat{r}), calculado usando o PROC REG do programa SAS (1999).

A resposta à seleção foi estimada para duas situações: uma objetivando a seleção dentro de progênies, para atender a necessidade de manejo do banco de conservação e outra, visando à seleção entre e dentro de progênies para a formação de um pomar de sementes clonais de segunda geração.

A resposta à seleção dentro de progênies (\hat{R}_d) foi estimada por,

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

e a resposta à seleção entre e dentro de progênies (\hat{R}_{ed}) por,

$$\hat{R}_{ed} = i_e \hat{\sigma}_F \hat{h}_m^2 + i_d \hat{\sigma}_d \hat{h}_d^2,$$

em que, i_e e i_d são as intensidades de seleção em unidade de desvio padrão, aplicada entre e dentro de progênies e $\hat{\sigma}_F$ e $\hat{\sigma}_d$ são os desvios padrões da variância fenotípica total e dentro de progênies. Para atender o primeiro objetivo (conservação genética), ou somente a seleção dentro das subparcelas, utilizou-se uma intensidade de seleção de 20% ($i_d = 1,27$). Para a formação do pomar de sementes, foram selecionadas as 30 melhores progênies ($i_e = 1,2246$) e as duas melhores árvores dentro das melhores progênies ($i_d = 1,83$). A resposta à seleção em porcentagem [$\hat{R}(\%)$] foi estimada por:

$$\hat{R}(\%) = \frac{\hat{R}}{\bar{x}} x 100.$$

em que, \bar{x} é a média do caráter.

3 RESULTADOS

3.1 Variação Entre e Dentro de Procedências

Foram detectadas diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre procedências em todos os caracteres em todas as análises (TABELA 2). A divergência genética entre procedências em altura, medida pelo coeficiente de correlação intraclasse (\hat{Q}_{ST}), variou de 28,8% no primeiro ano de idade a 6,5% aos 18 anos de idade (TABELA 3). A divergência em sobrevivência, DAP e volume acomodou entre 10% (SOB3) a 4,5% (VOL18) da variação total. Entre progênies dentro de procedências, foram detectadas diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) em altura, DAP e volume (TABELA 2). A divergência genética entre progênies dentro de procedências em altura variou de 19,9% a 7,3% (TABELA 3) e foi de 9,6% para o DAP e 6,7% para o volume. Em todos os casos, a variação fenotípica dentro de progênies/procedência acomodou a maior parte da variação total (mínimo 51%). Em sobrevivência não foram detectadas diferenças significativas entre progênies.

TABELA 2 – Análise de variância com os quadrados médios para altura, DAP e sobrevivência em diversas idades, em teste de progênies/procedências de *A. angustifolia* em Itapeva-SP.

Fonte de Variação	GL18	ALT1	ALT3	ALT5	ALT18	DAP18	VOL18
Procedência (PO)	4	0,6434**	3,6301**	43,005**	162,4076**	456,9938**	0,00699**
BL x PO	8	0,0058	1,5522	21,2112	51,1250	103,2570	0,00239
Progênies/Proced.	105	0,0218**	0,1307**	0,8067**	12,1794**	40,2399**	0,00051**
Progênies/Proc. IT	20	0,0363**	0,1120**	0,9432**	11,0751**	45,3567**	0,00045**
Progênies/Proc. CJ	25	0,0187**	0,0606**	0,4520**	11,8940**	41,3417**	0,00052**
Progênies/Proc. BJ	24	0,0224**	0,1502**	0,6615**	19,8841**	30,5398**	0,00034**
Progênies/Proc. CU	13	0,0150**	0,1600**	1,1694**	19,6289**	52,7529**	0,00112**
Progênies/Proc. SJ	23	0,0155**	0,1857**	1,0199**	10,4103**	37,5880**	0,00039**
Resíduo	210	0,0022	0,0413	0,3543	4,4887	13,6348	0,00029
Dentro	2606	0,0017	0,0318	0,1771	2,2821	8,8389	0,00013
Fonte de Variação	GL18	SOB1	SOB3	SOB5	SOB18		
Procedência (PO)	4	0	0,3312**	0,3088**	0,3076**		
BL x PO	8	0	0,0346	0,0292	0,0405		
Progênies/Proced.	105	0	0,0452	0,0488	0,0501		
Resíduo	210	0	0,0378	0,0416	0,0439		
Sobrevivência média (%)		100	91,0	89,7	89,7		

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

GL18 = graus de liberdade aos 18 anos de idade; ALT1, ALT3, ALT5 e ALT18 são as alturas nas idades de um, três, cinco e 18 anos; DAP18 e VOL18 são o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, aos 18 anos de idade; SOB1, SOB3, SOB5 e SOB18 são as sobrevivências nas idades de um, três, cinco e 18 anos.

IT = Itapeva; CJ = Campos do Jordão; BJ = Bom Jardim da Serra; CU = Cunha; SJ = São Joaquim.

TABELA 3 – Distribuição da variação genética entre procedências (\hat{Q}_{ST}), progênes/procedência (\hat{Q}_{PP}) e dentro de progênes (\hat{Q}_d), em *A. angustifolia*, em Itapeva, SP.

Caráter	\hat{Q}_{ST}	\hat{Q}_{PP}	\hat{Q}_d
SOB3	0,100	–	0,900
SOB5	0,085	–	0,915
SOB18	0,080	–	0,920
ALT1	0,288	0,199	0,513
ALT3	0,086	0,085	0,829
ALT5	0,158	0,073	0,768
ALT18	0,065	0,104	0,831
DAP18	0,054	0,096	0,850
VOL18	0,045	0,067	0,888

$$\hat{Q}_{ST} = \hat{\sigma}_p^2 / (\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_d^2). \quad \hat{Q}_{PP} = \hat{\sigma}_f^2 / (\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_d^2). \quad \hat{Q}_d = \hat{\sigma}_d^2 / (\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_f^2 + \hat{\sigma}_d^2).$$

ALT1, ALT3, ALT5 e ALT18 são as alturas nas idades de um, três, cinco e 18 anos; DAP18 e VOL18 são o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, aos 18 anos de idade. SOB1, SOB3, SOB5 e SOB18 são as sobrevivências nas idades de um, três, cinco e 18 anos.

A variação entre progênes/procedências foi decomposta nos efeitos individuais de procedências (TABELA 2). Foram detectadas diferenças altamente significativas entre progênes dentro de todas as procedências. A divergência genética entre progênes dentro das procedências

individuais variou de 39,6% a 3,7% (procedência Itararé – FIGURA 1). Nos dois primeiros anos de plantio, a divergência entre progênes para altura foi alta, acomodando de 17% a 40% da variação total, vindo a cair a partir do terceiro ano, retendo entre 7,7% a 16,5% da variação total, aos 18 anos de idade.

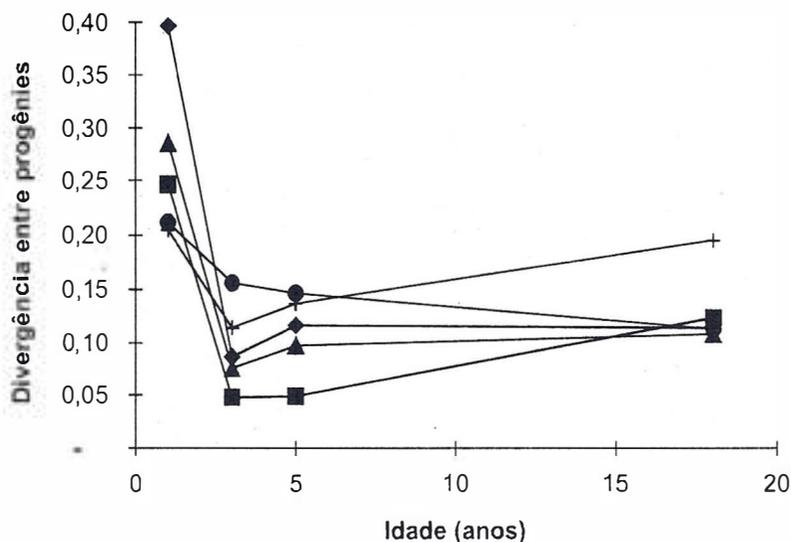


FIGURA 1 – Distribuição da variação genética entre progênes (\hat{Q}_p) dentro de cinco procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP. (–◆– Itararé; –■– Campos do Jordão; –▲– Bom Jardim da Serra; –+– Cunha; –●–São Joaquim).

3.2 Sobrevivência

A sobrevivência das árvores foi alta no ensaio, variando de 100% no primeiro ano de plantio a 89,7% aos 18 anos de idade (TABELA 1). Entre procedências (FIGURA 2), aos 18 anos de idade, as de Santa Catarina apresentaram as menores taxas de

sobrevivência (São Joaquim = 85,8%; Bom Jardim da Serra = 86,4), enquanto as do Estado de São Paulo apresentaram os maiores valores (Campos do Jordão = 93,2%; Cunha = 91%; Itararé = 89%). Estes resultados sugerem que as procedências originadas de menores latitudes sobrevivem mais às condições de Itapeva do que às de latitudes maiores.

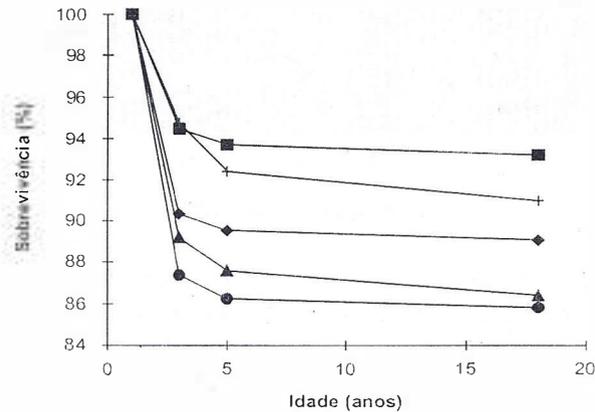


FIGURA 2 – Porcentagem de sobrevivência do primeiro ao décimo oitavo ano de idade de procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP. (—◆— Itararé; —■— Campos do Jordão; —▲— Bom Jardim da Serra; —+— Cunha; —●— São Joaquim).

3.3 Taxa de Crescimento

A taxa de crescimento em altura, até a idade de três anos, apresentou algumas alterações na classificação das procedências, estabilizando-se após esta fase inicial (TABELA 4). Porém, já no terceiro ano de idade, as duas procedências de melhor performance (Cunha e Itararé), e a de pior performance (Bom Jardim da Serra), já haviam assumido posição estável, sugerindo que a seleção precoce poderia ser efetiva na fase inicial de estabelecimento do plantio (três anos). As procedências Campos do Jordão

e São Joaquim apresentaram crescimento em altura muito semelhante. O crescimento em DAP e volume, aos 18 anos de idade, confirma a superioridade das procedências Cunha e Itararé, para a região de Itapeva. As diferenças no crescimento em altura, DAP e volume entre a procedência de maior crescimento (Cunha) e a de menor crescimento (Bom Jardim da Serra) foram, respectivamente, 19,4%, 19,2% e 65%. Em relação ao crescimento das progênes, em volume, aos 18 anos de idade, detectou-se diferenças entre a progênie de maior e menor crescimento de 51% (FIGURA 3).

TABELA 4 – Crescimento em altura, DAP e volume em cinco procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP.

Caráter	Procedência				
	Itararé	C. Jordão	Bom Jardim	Cunha	São Joaquim
ALT1 (m)	0,30 ± 0,025	0,30 ± 0,022	0,24 ± 0,021	0,30 ± 0,020	0,25 ± 0,020
ALT3 (m)	0,64 ± 0,080	0,56 ± 0,054	0,50 ± 0,059	0,73 ± 0,114	0,59 ± 0,082
ALT5 (m)	1,12 ± 0,276	1,19 ± 0,190	0,93 ± 0,162	1,69 ± 0,349	1,22 ± 0,204
ALT18 (cm)	7,30 ± 0,785	6,86 ± 0,732	6,21 ± 0,733	7,69 ± 0,848	6,93 ± 0,792
DAP18 (cm)	11,15 ± 1,594	10,28 ± 1,429	9,04 ± 1,335	11,17 ± 1,578	9,85 ± 1,398
VOL18 (m ³ /planta)	0,035 ± 0,006	0,032 ± 0,006	0,028 ± 0,004	0,039 ± 0,008	0,033 ± 0,006

$P \leq 0,01$.

ALT1, ALT3, ALT5 e ALT18 são as alturas nas idades de um, três, cinco e 18 anos; DAP18 e VOL18 são o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, na idade de 18 anos.

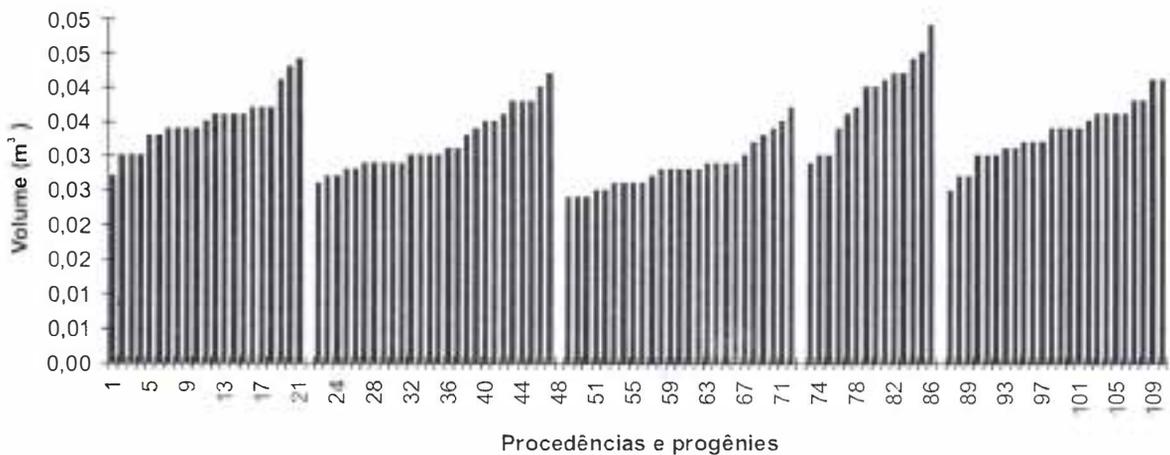


FIGURA 3 – Crescimento em volume, aos 18 anos de idade, em progênies e procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP. Da esquerda para a direita encontram-se as procedências Itararé (progênies 1-21), Campos do Jordão (progênies 22-47), Bom Jardim da Serra (progênies 48-72), Cunha (progênies 73-86) e São Joaquim (progênies 87-110).

3.4 Correlação entre Caracteres com Características Geográficas e Climáticas

O coeficiente de correlação linear de Spearman foi positivo e estatisticamente significativo ao nível de 1% entre altura e temperatura máxima do local de origem das procedências ($\hat{r} = 0,88$), sugerindo que esta última determinou 77% (\hat{r}^2) da variação observada no crescimento em altura das procedências (TABELA 5). Também foram detectadas associações significativas ao nível de 10% entre altura e latitude ($\hat{r} = -0,86$) e temperatura mínima ($\hat{r} = 0,84$). Contudo, latitude e temperatura máxima e mínima,

provavelmente, não são variáveis totalmente independentes (TABELA 1). Na região estudada, as menores latitudes apresentam as maiores temperaturas máximas e mínimas e as latitudes maiores as menores temperaturas máximas e mínimas. Outros caracteres apresentaram correlações relativamente altas como, por exemplo, DAP e latitude ($\hat{r} = -0,67$) e DAP e temperatura máxima ($\hat{r} = 0,75$). Nestes casos, a ausência de diferenças significativas pelo teste *t* pode estar associada ao pequeno número, de graus de liberdade (3) disponíveis para a comparação, conseqüência da utilização de apenas cinco procedências no ensaio.

TABELA 5 – Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman (\hat{r}) entre caracteres e características geográficas e climáticas das origens das procedências de *A. angustifolia*, aos 18 anos de idade, em Itapeva, SP.

Características	ALT18	DAP18	VOL18	SOB18
Latitude	-0,86 ^a	-0,67	-0,58	0,45
Longitude	-0,55	-0,61	-0,61	0,61
Altitude	-0,01	0,01	-0,05	0,07
Precipitação	0,34	0,43	0,44	0,61
Temperatura máxima	0,88 ^{**}	0,75	0,69	0,51
Temperatura mínima	0,84 ^a	0,62	0,56	0,35

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

(a) $P \leq 0,10$.

ALT18, DAP18, VOL18 e SOB18 são a altura, o diâmetro à altura do peito, o volume e a sobrevivência na idade de 18 anos.

3.5 Correlação Genética Entre Caracteres em Diferentes Idades

As correlações genéticas entre os vários caracteres e entre idades, foram positivas e significativas (TABELA 6). As correlações entre

mesmos caracteres em idades próximas foram, geralmente, maiores do que as estimadas entre idades mais distantes, sugerindo que não ocorreram grandes alterações na performance das progênies dentro das procedências após os cinco anos de idade.

TABELA 6 – Estimativas de correlações genéticas (\hat{r}_g) entre idades e caracteres em teste de progênies e procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP.

	ALT3	ALT5	ALT18	DAP18	VOL18
ALT1	0,61**	0,66**	0,50*	0,61**	0,56*
ALT3		0,95**	0,70**	0,67**	0,66**
ALT5			0,95**	0,76**	0,51*
ALT18				0,95**	1,00**
DAP18					1,01**

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

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

ALT1, ALT3, ALT5 e ALT18 são as alturas nas idades de um, três, cinco e 18 anos; DAP18 e VOL18 são o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, na idade de 18 anos.

3.6 Parâmetros Genéticos

O coeficiente de variação genética, até a idade de cinco anos, variou consideravelmente entre procedências em altura (FIGURA 4). As procedências originadas de Santa Catarina apresentaram as maiores variações. Contudo, aos 18 anos de idade, o coeficiente de variação genética na procedência Cunha superou as demais. O coeficiente de variação genética médio entre procedências,

aos 18 anos de idade, foi alto em todos os caracteres, variando de 10,9% a 14,5% (TABELA 7). Em nível de procedências, o coeficiente de variação genético variou de 7,8% a 13,8%. A procedência Cunha apresentou os maiores valores e a Itararé os menores em todos os caracteres. Tais resultados sugerem que a amostragem foi efetiva para reter variação genética nos caracteres de crescimento e existe a possibilidade de progressos com a seleção.

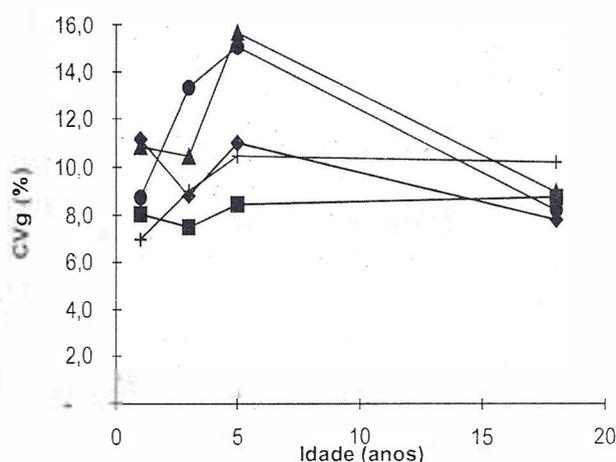


FIGURA 4 – Tendência do coeficiente de variação genética (CV_g) em altura de cinco procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva, SP. (◆– Itararé; ■– Campos do Jordão; ▲– Bom Jardim da Serra; +– Cunha; ●– São Joaquim).

TABELA 7 – Estimativas do coeficiente de variação genética (CV_g) em altura, DAP e volume, aos 18 anos de idade, em cinco procedências de *A. angustifolia*, plantadas em Itapeva, SP.

Procedência	ALT18 (%)	DAP18 (%)	VOL18 (%)
Itararé	7,8	10,1	10,0
Campos do Jordão	8,7	10,3	11,6
Bom Jardim	8,9	10,2	11,0
Cunha	10,2	11,1	13,8
São Joaquim	8,2	11,0	10,2
Média	10,9	12,8	14,5

ALT18, DAP18 e VOL18 são a altura, o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, na idade de 18 anos.

As herdabilidades foram maiores nos primeiros anos de vida das plantas, declinando no terceiro anos e, aparentemente, mantendo-se constante até a idade 18 anos. Em altura de plantas, as estimativas de herdabilidade em nível de média de progênies variaram de aproximadamente 0,86 a 0,625 e, dentro de progênies, de 1,2 a 0,377, indicando as possibilidades de sucesso com a seleção (FIGURA 5 e TABELA 8). A herdabilidade em nível de média de progênies foi, geralmente,

maior do que em nível de plantas individuais e entre plantas dentro de progênies. Essas herdabilidades implicam que ganhos genéticos de até 10,5% em altura, 12,5% em DAP e 10,1% em volume, podem ser esperados pela seleção das duas melhores plantas dentro das progênies, aos 18 anos de idade, e que ganhos de até 21,1% em altura, 25,9% em DAP e 20,4% em volume podem ser esperados pela seleção das duas melhores árvores dentro das 30 melhores progênies, em Itapeva.

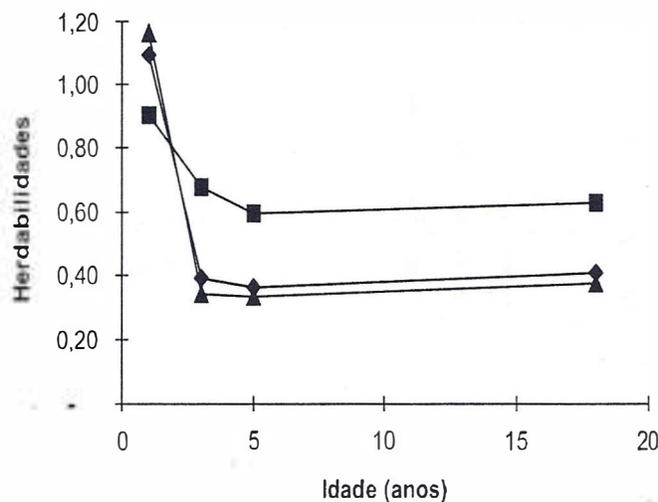


FIGURA 5 – Tendência dos coeficientes de herdabilidade individual ($-\diamond-$ \hat{h}_i^2), média de progênies ($-\square-$ \hat{h}_m^2) e dentro de progênies ($-\triangle-$ \hat{h}_d^2) em altura ao longo do tempo, até 18 anos de idade em *A. angustifolia*, plantadas em Itapeva, SP.

TABELA 8 – Estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de crescimento (\pm erro padrão), aos 18 anos de idade, em procedências e progênies de *A. angustifolia*.

Parâmetros	ALT18	DAP18	VOL18
Herdabilidade em nível de plantas – \hat{h}_i^2	0,408 \pm 0,006	0,384 \pm 0,008	0,253 \pm 0,005
Herdabilidade média entre progênies – \hat{h}_m^2	0,625 \pm 0,003	0,654 \pm 0,004	0,497 \pm 0,007
Herdabilidade dentro de progênies – \hat{h}_d^2	0,377 \pm 0,002	0,338 \pm 0,002	0,226 \pm 0,003
Estratégia A			
Resposta dentro de progênies – \hat{R}_d	10,5 %	12,5 %	10,1 %
Estratégia B			
Resposta total à seleção – \hat{R}_{cd}	21,0 %	25,9 %	20,4 %

ALT18, DAP18 e VOL18 são a altura, o diâmetro à altura do peito e o volume sem casca, respectivamente, na idade de 18 anos.

4 DISCUSSÃO

4.1 Variação Entre e Dentro de Procedências

Os resultados mostraram altos níveis de variação genética entre procedências em todos os caracteres. Altos níveis de variação genética entre procedências de *A. angustifolia* não são novidade. Estudos conduzidos com grande número de procedências, cobrindo grande parte da distribuição geográfica da espécie, vêm, há muito tempo, enfatizando o forte efeito de procedências e a possibilidade de progressos genéticos com a seleção (Fahler & Di Lucca, 1980; Kageyama & Jacob, 1980; Monteiro & Speltz, 1980; Shimizu & Higa, 1980; Timoni *et al.*, 1980; Shimizu, 1999). A ampla distribuição geográfica, associada ao isolamento reprodutivo de populações localizadas a grandes distâncias, provavelmente, é a principal causa da existência de alta diferenciação, visto que a variação genética adaptativa entre procedências é desenvolvida pela seleção natural (Rehfeldt, 1974) e condicionada pela heterogeneidade ambiental (Rehfeldt, 1978).

As análises da divergência genética entre procedências mostraram que estas são altas nos primeiros anos de idade, tendendo a diminuir com o desenvolvimento das árvores.

Padrão semelhante foi observado por Shimizu & Higa (1980) estudando 18 procedências de *A. angustifolia* aos dois, quatro e seis anos de idade, embora os níveis de divergência genética (72,7% a 25,9%) tenham sido maiores do que os aqui observados (28,8% a 15,8%). A ampla extensão e o número de procedências amostradas por Shimizu & Higa (1980), provavelmente, contribuíram para a maior diferenciação entre populações. Contudo, a avaliação desse mesmo ensaio, aos 23 anos de idade (Shimizu, 1999), revelou níveis de divergência entre procedências em altura (10,4%), DAP (2,6%) e volume (4,7%) muito próximos deste estudo (TABELA 3). Isto reforça a idéia de que a estimativa da divergência entre procedências tende a diminuir com o desenvolvimento das árvores, e que estimativas em idades precoces não são preditores confiáveis da divergência entre procedências em idades avançadas.

Comparando-se os níveis de divergência genética detectados aqui entre procedências, aos 18 anos de idade, nos caracteres quantitativos (4,5% a 6,5%), com os estimados de dados de marcadores genéticos, observa-se que, em geral, os valores são similares. Auler *et al.* (2002) detectaram divergências genéticas de 4,4% entre nove populações do Estado de Santa Catarina e Sousa (2000) detectou divergência variando de 0,01% a 4,8% entre populações e 9,8% entre as regiões.

4.2 Crescimento e Origem das Procedências

A taxa de crescimento das procedências em Itapeva apresenta associação negativamente com a sua latitude de origem. As procedências originadas das latitudes 22° a 25°S (Estado de São Paulo) tiveram maior crescimento e sobrevivência do que as procedentes de latitudes em torno de 28°S (Estado de Santa Catarina). Estudos de procedências de *A. angustifolia*, conduzidos no Estado de São Paulo, já haviam indicado esta tendência. Timoni *et al.* (1980) comparando o crescimento em altura, aos seis meses de idade, em Tupi (Piracicaba, SP), de 16 procedências originadas dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, observaram que as provenientes do limite norte da distribuição geográfica da espécie (Minas Gerais e São Paulo) apresentavam maior crescimento. Shimizu & Higa (1980) detectaram, em Ribeirão Branco, SP (no artigo original denominado de Itapeva - Shimizu, 1999), que procedências originadas do norte da distribuição natural da espécie (Parque Nacional do Itatiaia, RJ, e Bocaina, SP) cresciam mais em altura, até os seis anos de idade, do que as procedências dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Contudo, aos 23 anos de idade, os resultados mostraram o contrário. As procedências do sul cresceram mais em Ribeirão Branco do que as do norte (Shimizu, 1999). Essa incongruência nos resultados indica que cuidados devem ser tomados na transferência de sementes entre regiões. Com base nos resultados deste estudo, aparentemente, as sementes não devem ser transferidas entre regiões mais do que dois a três graus de latitude.

4.3 Correlações Genéticas

As correlações genéticas mostraram que a seleção em qualquer um dos caracteres de crescimento, aos 18 anos de idade, pode resultar em ganhos indiretos nos demais. As correlações genéticas entre diferentes idades em altura, DAP e volume indicaram que, se a seleção fosse realizada, pelo menos aos cinco anos de idade, existiria a possibilidade de se obter ganhos aos 18 anos. Contudo, tem sido defendido que a seleção precoce não deve preceder a metade da idade de rotação da cultura (Zobel & Talbert, 1984). Isto, em *A. angustifolia* significa entre oito a dez anos de idade.

4.4 Conservação Genética

A. angustifolia encontra-se na lista oficial da FAO (1996) das espécies arbóreas sul-americanas em perigo de extinção. O presente estudo foi estabelecido com o objetivo da conservação *ex situ* da variabilidade genética de populações da espécie. A variação genética detectada entre procedências e progênes indicou que a amostragem realizada foi efetiva para este fim. Entretanto, para manter a taxa de crescimento do banco, é necessária a realização de manejo (desbaste), com a eliminação de parte das árvores ensaiadas. Essa necessidade pode ser combinada com outra prática desejável como a utilização do banco para a produção de sementes com ampla base genética, conforme sugerido por Higa *et al.* (1992). A seleção em baixa intensidade dentro de progênes pode: a) manter parte da base genética amostrada, visto que nenhuma progênie será excluída do banco; b) reduzir o parentesco dentro das subparcelas e, conseqüentemente, a probabilidade de ocorrer endogamia biparental, e c) produzir sementes com ampla base genética para reflorestamentos. Como *A. angustifolia* é espécie dióica, é possível a seleção de plantas de mesmo sexo dentro das subparcelas, impedindo, assim, o cruzamento entre irmãos dentro das subparcelas e forçando o cruzamento entre indivíduos de diferentes subparcelas. No presente ensaio, a seleção será conduzida visando reter as duas melhores plantas de mesmo sexo em cada subparcela. Em 50% das subparcelas, serão selecionadas plantas femininas e nas restantes, plantas masculinas. Como o ensaio está composto por 110 progênes e três repetições, nas 55 progênes de melhor performance serão selecionadas duas plantas femininas, em duas subparcelas e, duas masculinas na subparcela restante. Nas outras 55 progênes de performance inferior serão selecionadas duas plantas masculinas em duas subparcelas e duas plantas femininas na subparcela restante. Esta estratégia de seleção vai manter a base genética ampla, o tamanho efetivo de endogamia otimizado e, teoricamente, fornecer sementes até 10,5% mais produtivas em termos de crescimento em altura, 12,5% em crescimento em DAP e 10,1% em volume.

4.5 Coeficientes de Variação e Herdabilidade

Existe substancial variação genética entre progênes dentro de procedências (TABELA 6), confirmando o potencial do teste para compor programas de conservação e melhoramento genético. Foram detectados altos coeficientes de herdabilidade, demonstrando a possibilidade de se obter ganhos imediatos com a seleção entre e dentro de progênes. Contudo, a despeito das altas herdabilidades, é provável que essas estejam superestimadas por duas razões: primeiramente, as herdabilidades foram estimadas para apenas um ambiente e a variância genética estimada contém uma parte da variação devido a prováveis efeitos da interação genótipo x ambiente, gerando superestimativas na variância genética aditiva, herdabilidades e ganhos na seleção (Namkoong, 1966); em segundo lugar, as estimativas foram obtidas assumindo que as progênes eram de meios-irmãos. Isto pode não ser verdadeiro, apesar da espécie ser dióica e polinizada pelo vento. Em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All., uma espécie arbórea tropical dióica polinizada por animais, Moraes *et al.* (2003) detectaram que de 37% a 67% das progênes eram irmãos-completos e o restante meios-irmãos, o que resultou em um coeficiente de coancestria variando de 0,171 a 0,209. Logo, 26,9% a 40,2% superior ao esperado em progênes exclusivamente de meios-irmãos (0,125). Contudo, estudos do sistema de reprodução têm revelado que coníferas polinizadas pelo vento têm menor taxa de cruzamentos correlacionados (El-Kassaby & Jaquish, 1996; Mitton *et al.*, 1997; Ledig *et al.*, 2000, 2001; Perry & Bousquet, 2001) do que espécies folhosas polinizadas por animais, sugerindo que o vento é mais eficiente para gerar cruzamentos aleatórios. Assim, é possível que as progênes do presente estudo não sejam todas meios-irmãos verdadeiros e a proporção de irmãos-completos deve ser baixa (< 20%). Conseqüentemente, isto pode causar poucos efeitos na estimativa dos parâmetros genéticos.

4.6 Melhoramento Genético

Os resultados deste ensaio revelaram considerável variação genética entre e dentro das procedências de *A. angustifolia*, nos caracteres de crescimento. Essa variação pode ser explorada em três níveis: *i*) seleção das melhores procedências;

ii) seleção das melhores progênes dentro das melhores procedências, e *iii*) seleção das melhores árvores, dentro das melhores progênes, das melhores procedências. Entretanto, como o presente ensaio é parte do programa de conservação *ex situ* que o Instituto Florestal vem desenvolvendo no sul do Estado de São Paulo, pretende-se apenas selecionar dentro de progênes e manter representantes de todas as progênes de todas as procedências. Uma alternativa prática para combinar conservação genética com a obtenção de ganho pela seleção é a formação de um pomar de sementes clonal de segunda geração, a partir da seleção das melhores árvores, das melhores progênes dentro do ensaio. O esquema de seleção proposto para a formação do pomar de sementes envolve a seleção das 30 melhores progênes do ensaio, sendo nove da procedência Cunha (a melhor), oito da Itapeva e Campos do Jordão, quatro de São Joaquim e uma de Bom Jardim da Serra. Dentro dessas progênes, serão selecionadas e clonadas as duas melhores árvores, uma de cada sexo. O ganho genético esperado na próxima geração, a partir de sementes coletadas no pomar de sementes de segunda geração é de até 21% em altura de plantas, 25,9% em DAP e 20,4% em volume.

A clonagem das árvores selecionadas poderá ser realizada, utilizando-se ramos do tipo ortotrópico (ramos de crescimento vertical), enxertados pelo método “janela aberta” conforme estudo de Kageyama & Ferreira (1975).

5 CONCLUSÕES

1. Existe variação genética entre e dentro de procedências e progênes de *A. angustifolia* em sobrevivência, altura, DAP e volume. Portanto, existe potencial para a conservação e melhoramento genético. A maior parte da variação encontra-se entre indivíduos dentro de progênes, seguida da variação genética entre progênes e entre procedências.
2. As procedências Cunha e Itararé, do Estado de São Paulo, apresentaram o maior crescimento e a Bom Jardim da Serra, do Estado de Santa Catarina, apresentou o menor, aos dezoito anos de idade.

3. A performance das procedências está negativamente associada à latitude dos seus locais de origem, indicando que procedências de menores latitudes crescem mais em Itapeva, SP.
4. O controle genético dos caracteres é forte e existe a possibilidade de se obter ganhos com a seleção entre e dentro de progênies.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à equipe técnica de apoio a pesquisa da Estação Experimental de Itapeva e Itararé do Instituto Florestal de São Paulo, pela mensuração dos caracteres quantitativos no ensaio, mais especificamente a Carlos Bagdal, Gilson Soares de Guimarães, Valdecir Benedito Ferreira, Sivaldo Alves de Freitas e Waldinei Ferreira. Os autores também agradecem aos dois revisores anônimos pelas correções e sugestões no manuscrito inicial deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULER, N. M. F. *et al.* The genetics and conservation of *Araucaria angustifolia*: genetic structure and diversity of natural populations by means of non-adaptative variation in the state of Santa Catarina, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 25, n. 3, p. 239-338, 2002.
- BALDANZI, G.; RITTERSHOFER, F. O.; REISSMAN, C.B. Ensaio comparativo de procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1973, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FIEP, 1973. p. 123-124.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira.** Colombo: EMBRAPA/CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.
- EL-KASSABY, Y. A.; JAQUISH, B. Population density and mating pattern in Western Larch. **Journal of Heredity**, Cary, v. 87, p. 438-443, 1996.
- FAHLER, J. C.; LUCCA, C. M. DI. Variación geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.: informe preliminar a los 5 años. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1980. p. 96-101.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Report of the second session of the FAO panel of experts on forest gene resources.** Rome: Forest Genetic Resources, 1972. 68 p.
- _____. **Panel of experts in forest gene resources. Ninth Session.** Rome, 1996. 64 p.
- GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Evidências de raças geográficas no pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 33-39, 1965.
- _____. Caracterização de ecótipos, em âmbito nacional para o pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze - Nota Prévia. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 8, p. 127-132, 1973.
- HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V.; CARVALHO, P. E. R. Pomar de sementes por mudas: um método para a conservação *ex situ* de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 1217-1224. (Rev. Inst. Flor., São Paulo, v. 4, n. único, pt. 4, Edição especial).
- KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Propagação vegetativa por enxertia em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **IPEF**, Piracicaba, v. 11, p. 95-102, 1975.
- _____.; JACOB, W. S. Variação genética entre e dentro de populações de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1980. p. 83-86.

LEDIG, F. T. *et al.* The mating system and genetic diversity in Martinez spruce, an extremely rare endemic of Mexico's Sierra Madre Oriental: an example of facultative selfing and survival in interglacial refugia. **Canadian Journal Forest Research**, Edmonton, v. 30, p. 1156-1164, 2000.

LEDIG, F. T. *et al.* Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). **American Journal of Botany**, Oklahoma, v. 88, n. 11, p. 1977-1987, 2001.

MITTON, J. B.; LATTA, R. G.; REHFELDT, G. E. The pattern of inbreeding in washoe pine and survival of inbred progeny under optimal environmental conditions. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 46, n. 4, p. 215-219, 1997.

MONTEIRO, R. F. R.; SPELTZ, R. M. Ensaio de 24 procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1980. p. 181-200.

MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M.; KAGEYAMA, P. Y. Correlated mating in two natural populations of a dioecious species, *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Forest Genetics**, Svolen, 2003. (submetido).

NAMKOONG, G. Inbred effects on estimation of genetic additive variance. **Forest Science**, Washington, D.C., v. 12, p. 8-13, 1966.

_____. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).

PERRY, D. J.; BOUSQUET, J. Genetic diversity and mating system of post-fire and post-harvest black spruce: an investigation using codominant sequence-tagged-site (STS) markers. **Canadian Journal Forestry Research**, Edmonton, v. 31, p. 32-40, 2001.

REHFELDT, G. E. **Genetic variation of Douglas-Fir in the northern rocky mountains**. Ogden: United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Experiment Station, 1974. 6 p. (Research Note INT, 184).

_____. Genetic differentiation of Douglas-Fir population from northern rocky mountains. **Ecology**, New York, v. 59, n. 6, p. 1264-1270, 1978.

S.A.S. INSTITUTE INC. **SAS procedures guide. Version 8 (TSMO)**. Cary: SAS Institute Inc., 1999. 2 v.

SHIMIZU, J. Y. Variação entre procedências de Araucária em Ribeirão Branco (SP) aos vinte e três anos de idade. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 38, p. 89-102, 1999.

_____; HIGA, A. R. Variação genética entre procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região de Itapeva-SP, estimada até o 6º ano de idade. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1980. p. 78-82.

_____; JAEGER, P.; SOPCHAKI, S. A. Variabilidade genética em uma população remanescente de araucária no Parque Nacional do Iguaçu, Brasil. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 41, p. 18-36, 2000.

SOUSA, V. A. **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2000. 161 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen, Göttingen.

TIMONI, J. L. *et al.* Conservação genética da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 1980. p. 115-117.

SEBBENN, A. M. *et al.* Variação genética entre e dentro de procedências e progênes de *Araucaria angustifolia* no sul do Estado de São Paulo.

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

ZHENG, Y. O.; ENNOS, R.; WANG, H. R. Provenance variation and genetic parameters in a trial of *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. and Golf. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 1, n. 3, p. 165-174, 1994.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. Raleigh: North Carolina State University, 1984. 496 p.