

VARIAÇÃO GENÉTICA EM CINCO PROCEDÊNCIAS DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. NO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO*

Alexandre Magno SEBBENN**

Ananias de Almeida Saraiva PONTINHA***

Sivaldo Alves de FREITAS***

José Antonio de FREITAS***

RESUMO

Em dezembro de 1973 um teste de procedências de *Araucaria angustifolia* foi estabelecido na Estação Experimental de Itapeva, Estado de São Paulo, com cinco procedências, 64 indivíduos por parcela e seis repetições. Em 1981 o ensaio foi submetido a um desbaste sistemático de 50% das árvores. A distribuição da variação genética, entre e dentro de procedências para altura e DAP, foi investigada aos 2, 6 e 30 anos de idade, e para volume comercial aos 30 anos. As análises de variância revelaram diferenças altamente significativas entre procedências para todos os caracteres e idades de avaliação. Da variação fenotípica total, 5,45% a 15,18% foram encontradas entre procedências, sendo que o restante estava dentro das procedências. Aos 30 anos de idade, a procedência Campo do Jordão (SP) apresentou o melhor desempenho para todos os caracteres, e a Bom Jardim (SC) apresentou o pior. Foram observadas correlações negativas entre a performance das procedências e suas latitudes de origem, indicando que procedências de origem norte de distribuição da espécie crescem mais nas condições ambientais da Estação Experimental de Itapeva do que as de origem sul.

Palavras-chave: pinheiro do Paraná; teste de procedências; coníferas; espécies arbóreas tropicais.

1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. (Araucariaceae) (pinheiro-do-paraná) já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente (Sousa, 2000). Essa conífera dióica polinizada pelo vento foi submetida à exploração ostensiva e desordenada durante o final do século XIX, até meados da década de 70, do século XX, o que a levou quase à extinção (Food and Agriculture Organization of the United

ABSTRACT

In December, 1973 a provenance test of *Araucaria angustifolia* was established in Itapeva Experimental Station, São Paulo State, Brazil, with five provenances, 64 individuals per plot and 6 replicates. In 1981 the trial was submitted to systematic cutting from 50% of the trees. The distribution of the variation among and within provenances for height and DBH was investigated at 2, 6 and 30 years old, and the volume at 30 years old. Variation analysis for all traits and years of evaluations revealed significant genetic differences among provenances. From total phenotypic variation, 5.45% to 15.18% were finding among provenance. Provenance from Campos do Jordão (SP) was the best for grown among all traits and Bom Jardim (SC) was the worst. Negative correlation between performance of provenances and their origin latitudes were observed, indicating that north provenances of natural species distribution grow more in the environmental conditions of Itapeva Experimental Station than south provenances.

Key words: Paraná pine; provenance test; coniferous; tropical tree species.

Nations - FAO, 1972). Hoje, de sua ampla distribuição natural no Brasil, que ocorre entre as latitudes 19°15'S. (Conselheiro Pena-MG) a 31°39'S. (Canguçu-RS) e longitudes de 41°30'W. a 54°30'W. e em altitudes que variam de 500 m a 2.300 m, sobraram apenas pequenas manchas esparsas e isoladas (Carvalho, 1994). A espécie é exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), nas formações Aluvial (galeria), Submontana, Montana e Alto-Montana. Pode atingir 50 m de altura e 250 cm de DAP.

(*) Aceito para publicação em setembro de 2004.

(**) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: amsebbenn@bol.com.br

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

Embora seu crescimento inicial seja lento, a partir do terceiro ano, em sítios adequados apresenta incremento médio anual em altura de 1 m, e a partir do quinto ano, o incremento médio em DAP é de 1,5 a 2,0 cm. O incremento em volume pode atingir 30 m³/ha/ano. A madeira é de alta qualidade e de ampla utilidade e os pinhões (sementes) são fontes de alimento para homens e animais (Carvalho, 1994).

Os testes de procedências têm importante função na escolha de qual material genético é mais apropriado para o reflorestamento de uma determinada região. Contudo, existem muitos outros usos potenciais para testes de procedências maduros. Podem ser usados para propagação massal de material, fornecer material para melhoramento, como referência histórica e ajudar na conservação genética. Podem, também, ser usados para estudos da interação genótipo ambiente, zoneamento de limites adaptativos e ecológicos, padrões de variação genética e fluxo gênico, identificação de causas e origem da variação genética, taxonomia e histórico evolutivo, crescimento e produtividade, estudos das propriedades da madeira, correlações entre fase juvenil e madura, mapeamento ambiental, mudanças ambientais, efeitos da domesticação e mudanças evolutivas correntes, efeitos da introdução, efeitos fisiológicos, resposta para mudanças ambientais, predição das conseqüências de mudanças ambientais e interação com outras espécies (Lindgren, 1997). Dentro desse contexto, estudos conduzidos com procedências de *A. angustifolia* vêm, há muito tempo, revelando a existência de variação genética entre diferentes origens geográficas e alto potencial genético para o melhoramento e a conservação genética (Gurgel & Gurgel Filho, 1965, 1973; Baldanzi *et al.*, 1973; Kageyama & Jacob, 1980; Shimizu & Higa, 1980; Giannotti *et al.*, 1982; Shimizu, 1999; Sebbenn *et al.*, 2003).

O presente trabalho investiga o comportamento genético e silvicultural de cinco procedências de *A. angustifolia*, aos 2, 6 e 30 anos de idade, nas condições ambientais de Itapeva, Estado de São Paulo. O objetivo foi investigar a distribuição da variação genética, entre e dentro de cinco procedências de *A. angustifolia*, com intuito de sua conservação e melhoramento genético.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem e Delineamento Experimental

Em 1973, sementes de polinização aberta foram coletadas em cinco procedências de *A. angustifolia* em três estados brasileiros (TABELA 1). As sementes foram germinadas e, em 1973/1974 (dezembro/janeiro), suas mudas foram plantadas em forma de teste de procedências na Estação Experimental de Itapeva, SP (E.E. de Itapeva). O ensaio obedeceu ao delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco tratamentos (procedências), seis repetições, parcelas quadradas de 64 árvores, todas úteis, espaçamento 3 x 3 m e bordadura externa de duas linhas. Em 1981, o ensaio foi submetido a um desbaste sistemático com a retirada de aproximadamente 50% das árvores inicialmente implantadas.

Dados de altura foram medidos aos 2 (ALT2), 6 (ALT6) e 30 (ALT30) anos de idade, e dados de DAP aos 6 (DAP6) e 30 anos (DAP30). Também foi estimado o volume individual sem casca (VSC) aos 30 anos de idade (VOL30), usando-se a expressão proposta por Machado *apud* Shimizu (1999):

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

TABELA 1 – Coordenadas geográficas, altitude e características do local de experimentação e origens das procedências.

Local	Latitude S	Longitude N	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temp. média (°C)
Ensaio Itapeva, SP	24°02'	49°06'	730	1.247	14,0
Monte Alegre, SP	22°12'	50°32'	760	1.318	19,1
Campos do Jordão, SP	22°44'	45°34'	1.630	1.891	14,5
Campo Mourão, PR	24°03'	52°22'	617	1.321	19,8
Bom Jardim, SC	28°18'	49°32'	800	1.600	13,1
Lauro Müller, SC	28°30'	49°24'	198	1.377	19,0

2.2 Análise Estatística

A análise da variância, para cada caráter, foi realizada em nível de plantas individuais. Como o experimento era desbalanceado, devido ao número desigual de árvores sobreviventes por parcelas e ao desbaste realizado, utilizou-se o método REML (Restricted Maximun Likelihood) combinado com o procedimento VARCOMP, implementados no programa estatístico SAS (SAS, 1999), para as estimativas dos componentes da variância. A análise de variância, para cada caráter, foi realizada com base no seguinte modelo linear,

$$Y_{ijk} = m + b_i + t_j + e_{ij} + d_{ijk}$$

em que, Y_{ijk} é o valor fenotípico do k -ésimo indivíduo da j -ésima procedência da i -ésimo bloco; m é o termo fixo da média total; b_i é o efeito aleatório do i -ésimo bloco; t_j é o efeito aleatório da j -ésima procedência; e_{ij} é o efeito aleatório da interação entre a j -ésima procedência e o i -ésimo bloco (erro entre); d_{ijk} é o efeito do erro dentro de procedência; sendo: $i = 1 \dots b$ (b é o número de blocos); $j = 1 \dots t$ (t é o número de procedência); $k = 1 \dots n$ (n é o número de árvores por procedência). Com exceção da média, todos os demais efeitos foram assumidos como aleatórios. O esquema da análise de variância encontra-se na TABELA 2. A variância fenotípica dentro de procedências ($\hat{\sigma}_d^2$) foi estimada pela média ponderada dos quadrados médios entre plantas dentro das parcelas.

Assim, os componentes de variância estimados foram: $\hat{\sigma}_p^2$ = variância genética entre procedências; $\hat{\sigma}_e^2$ = variância ambiental; $\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica dentro de procedências. Dos componentes de variância estimou-se a divergência genética entre procedências (\hat{Q}_{ST}) por,

$$\hat{Q}_{ST} = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2}.$$

As correlações genéticas (\hat{r}_g) entre os caracteres e idades de avaliação foram estimadas em nível de plantas individuais usando a equação:

$$\hat{r}_g = \frac{\hat{\sigma}_{p_x p_y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{p_x}^2 \hat{\sigma}_{p_y}^2}},$$

sendo, $\hat{\sigma}_{g_x g_y}$ o produtório genético cruzado dos caracteres x e y ; $\hat{\sigma}_{p_x}^2$ e $\hat{\sigma}_{p_y}^2$ são as variâncias genéticas entre procedências dos caracteres x e y , respectivamente. Os produtórios cruzados foram estimados da análise de covariância. A associação entre caracteres e características dos locais de origem das procedências foi estimada pelo coeficiente de correlação linear de Sperman (\hat{r}), calculado utilizando-se o procedimento PROC REG implementado no programa SAS (SAS, 1999).

TABELA 2 – Quadro da análise de variância para cada caráter em nível de plantas individuais.

Fonte de variação	GL	QM	E(QM)
Blocos	I-1	QM ₁	–
Procedências	J-1	QM ₂	$\sigma_d^2 + \bar{K}\sigma_e^2 + I\bar{K}\sigma_p^2$
Resíduo	(J-1)(I-1)	QM ₃	$\sigma_d^2 + \bar{K}\sigma_e^2$
Dentro de procedências	JI(\bar{K} - 1)	QM ₄	σ_d^2
Total	JI \bar{K} - 1	–	–

Em que: J = número de blocos; I = número de procedências, e \bar{K} = média harmônica do número de plantas por parcela.

A resposta esperada com a seleção massal no ensaio (\hat{R}) foi estimada por $\hat{R} = i\hat{\sigma}_F\hat{h}_i^2$, em que, i é a intensidade de seleção em unidade de desvio padrão, $\hat{\sigma}_F$ é o desvio padrão da variância fenotípica total ($\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2$) e \hat{h}_i^2 é o coeficiente de herdabilidade em nível de plantas individuais. Como se tratava de teste de procedências e, portanto, não é possível estimar herdabilidades, estas foram inferidas do trabalho de Sebbenn *et al.* (2003), que estudou a herança dos mesmos caracteres aqui avaliados, aos 18 anos de idade, em teste de procedências e progênies implantado no mesmo local do presente ensaio. Estimou-se os ganhos esperados com a seleção massal de 40% ($i = 0,9659$, Hallauer & Miranda Filho, 1988) das melhores árvores no ensaio aos 30 anos de idade. A resposta à seleção em porcentagem [\hat{R} (%)] foi calculada por:

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

em que, \bar{x} é a média do caráter no ensaio.

TABELA 3 – Estimativas de quadrados médios, resultados do teste F, coeficiente de variação experimental (CV_{exp}) e componentes da variância para altura, DAP e volume de *A. angustifolia* em Itapeva.

Parâmetro	ALT2	ALT6	ALT30	DAP6	DAP30	VOL30
QM _{Proc.}	10,9195**	33,4150**	488,1392**	602,0552**	610,8339**	1,3460**
QM _{Erro}	1,1830	5,560	59,0704	124,4934	91,4272	0,1909
CV _{exp}	25,63%	14,61%	21,82%	50,77%	29,39%	72,40%
$\hat{\sigma}_p^2$	0,0258	0,0752	3,0649	1,3053	3,6811	0,0082
$\hat{\sigma}_e^2$	0,0120	0,0766	1,4759	1,5846	1,5926	0,0030
$\hat{\sigma}_d^2$	0,4356	0,8267	15,6498	25,5610	36,2428	0,0783
\hat{Q}_{ST}	0,0545	0,0769	0,1518	0,0459	0,0887	0,0916

(**) $P < 0,01$.

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

3.2 Taxa de Crescimento

A classificação de crescimento de algumas procedências alterou-se com o desenvolvimento das árvores (TABELA 4). Por exemplo, a procedência Campos do Jordão (SP) apresentou o pior desempenho aos 2 anos de idade, foi a quarta na classificação aos 6 anos e a primeira aos 30 anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variação Entre Procedências

As análises de variância (TABELA 3) detectaram diferenças altamente significativas (1% de probabilidade) entre as procedências de *A. angustifolia* para todos os caracteres, em todas as idades avaliadas, indicando diferenças genéticas entre procedências e potencial, tanto para o melhoramento como para a conservação genética. Diferenças significativas entre procedências de *A. angustifolia*, para caracteres quantitativos, também têm sido reportadas em diversos outros estudos (Gurgel & Gurgel Filho, 1965; Baldanzi *et al.*, 1973; Fahler & Lucca, 1980; Shimizu & Higa, 1980; Kageyama & Jacob, 1980; Monteiro & Speltz, 1980; Giannotti *et al.*, 1982; Shimizu, 1999; Sebbenn *et al.*, 2003). Essas diferenças têm sido interpretadas como indicativas da existência de raças geográficas na espécie (Gurgel & Gurgel Filho, 1965) e indicam que progressos genéticos podem ser alcançados com a seleção das procedências mais adaptadas para cada região ou local de plantio. Diferenças significativas entre populações naturais de *A. angustifolia* também têm sido relatadas em estudos baseados em dados de marcadores genéticos (Sousa, 2000; Auler *et al.*, 2002).

A procedência Campo Mourão (PR) era a procedência de melhor desempenho aos 2 e 6 anos de idade e tornou-se a quarta na classificação aos 30 anos. Por outro lado, a procedência Bom Jardim teve o pior desempenho em todos os caracteres e anos de avaliação, com exceção do caráter altura aos dois anos de experimentação (ALT2).

TABELA 4 – Estimativas de médias ($\pm IC_{95\%}$) e incremento médio anual (IMA) para altura (ALT), DAP e volume comercial sem casca em cinco procedências de *A. angustifolia*, em Itapeva.

	ALT2 (m)	ALT6 (m)	ALT30 (m)	DAP6 (cm)	DAP30 (cm)	VOL30 (m ³ /ind.)
Proc. MA	2,58 \pm 0,06b	6,30 \pm 0,12c	18,35 \pm 0,66b	8,10 \pm 0,12e	20,90 \pm 1,04c	0,3955 \pm 0,0464c
Proc. CJ	2,25 \pm 0,04d	6,18 \pm 0,10d	19,61 \pm 0,66a	11,46 \pm 0,66a	22,18 \pm 1,00a	0,4695 \pm 0,0476a
Proc. CM	2,64 \pm 0,12a	6,50 \pm 0,08a	19,15 \pm 0,68b	10,77 \pm 0,56b	21,72 \pm 1,06b	0,4453 \pm 0,0536b
Proc. BJ	2,34 \pm 0,04c	5,73 \pm 0,08e	14,90 \pm 0,72e	9,59 \pm 0,44d	17,04 \pm 1,04e	0,2234 \pm 0,0486e
Proc. LM	2,58 \pm 0,04b	6,41 \pm 0,10b	18,15 \pm 0,61d	9,74 \pm 0,52c	20,07 \pm 0,82d	0,3744 \pm 0,0272d
Média	2,48	6,22	18,12	9,96	20,47	0,3864
IMA	1,24	1,24	0,60	1,99	0,68	0,0129

$IC_{95\%}$ é o intervalo de confiança do erro a 95% de probabilidade, $IC_{95\%} = 1,96 * (\hat{\sigma} / \sqrt{n})$, sendo $\hat{\sigma}$ o desvio padrão fenotípico e n o tamanho da amostra.

As três procedências de origem mais próxima (Campos do Jordão, Campo Mourão e Monte Alegre) ao local de experimentação (Itapeva) apresentaram melhor desempenho aos 30 anos de idade, em comparação às duas procedências mais distantes (Bom Jardim e Lauro Müller). Aos 30 anos de idade a procedência Campos do Jordão (SP) superou as demais em todos os caracteres, embora as diferenças em relação às procedências Campo Mourão (PR) e Monte Alegre (SP) não sejam significativas para nenhum dos caracteres, a julgar pelo intervalo de confiança do erro da média a 95% de probabilidade (1,96 x Erro padrão). Em relação às duas outras procedências (Bom Jardim e Lauro Müller), as diferenças foram significativas. As procedências Campo Mourão (PR) e Monte Alegre (SP) não diferiram significativamente da procedência Lauro Müller, mas ambas diferiram em relação à procedência Bom Jardim (SC). A procedência Lauro Müller também diferiu significativamente da procedência Bom Jardim. Esses resultados claramente demonstram o forte efeito das procedências em relação ao crescimento das árvores, que a escolha da procedência pode ter grande influência no aumento da produtividade no presente local de experimentação, e que, aparentemente, as procedências amostradas do Estado de Santa Catarina não são as mais adequadas para reflorestamentos nas condições ambientais de Itapeva (TABELA 1). Desempenho inferior da procedência Bom Jardim, nas condições ambientais de Itapeva, também é reportado por Sebbenn *et al.* (2003) comparando cinco procedências de *A. angustifolia*, aos 18 anos de idade, para os mesmos caracteres aqui avaliados.

Os autores observaram que a procedência Bom Jardim teve o pior crescimento em relação às demais, embora uma outra procedência do Estado de Santa Catarina (São Joaquim) tenha assumido o terceiro lugar na classificação das melhores em crescimento em altura e volume.

Comparando o volume da procedência de melhor performance (0,4695 m³/indivíduo, Campos do Jordão) com a de pior performance (0,2234 m³/indivíduo, Bom Jardim), verifica-se que a de melhor desempenho cresceu, aproximadamente, 52% a mais do que a de pior performance. Isso evidencia e reforça a hipótese de que existem possibilidades de se obter ganhos genéticos com a seleção da melhor procedência. Adicionalmente, outros ganhos poderão ser obtidos com a seleção dos melhores genótipos dentro da melhor procedência (seleção massal).

Os incrementos médios anuais para altura (1,24 m) e DAP (1,99 cm), observados aos dois e seis anos de idade, encontram-se dentro da amplitude relatada para a espécie em sítios adequados (1 m para altura e 1,5 cm a 2,0 cm para o DAP) (Carvalho, 1994). Contudo, o incremento médio anual medido aos 30 anos foi de 0,6 m para altura e 0,68 cm para DAP, valores estes muito inferiores aos relatados por Carvalho (1994). O incremento médio anual para volume comercial sem casca, aos 30 anos de idade, foi de 0,0129 m³/ano, o que representa ao crescimento média anual em volume de 5,16 m³/ha/ano, considerando uma densidade de 400 árvores por hectare e populações sem nenhum grau de melhoramento genético.

3.3 Variação Genética Entre e Dentro de Procedências

Os resultados da distribuição da variação genética, entre e dentro de procedências (TABELA 3), demonstraram que uma considerável parte da variação se encontra entre procedências (\hat{Q}_{ST}), embora a maior parte se encontre dentro de procedências ($\hat{Q}_D = 1 - \hat{Q}_{ST}$). A estimativa da divergência genética entre procedências (\hat{Q}_{ST}) variou de 0,0545 (ALT2) a 0,1518 (ALT30) entre os caracteres avaliados. Observando o padrão de variação dos valores do coeficiente \hat{Q}_{ST} , entre idades para altura e DAP, verifica-se a tendência de aumento com o crescimento das árvores. Isso significa que, com a maturação das árvores as diferenças genéticas entre as procedências aumentaram. Contudo, o estudo de Sebbenn *et al.* (2003), comparando cinco procedências de *A. angustifolia*, detectou resultado oposto para o caráter altura. A divergência genética variou de 0,288, a um ano de idade, a 0,065 aos 18 anos de idade.

Os valores relatados na literatura para a medida de divergência genética entre procedências para caracteres quantitativos (\hat{Q}_{ST}) em *A. angustifolia* têm variado de baixos (até 5%) a moderados (até 15%). Shimizu (1999) detectou divergência genética entre 18 procedências de *A. angustifolia*, aos 23 anos de idade, crescendo em Ribeirão Branco, SP, variando de 0,045 (volume comercial sem casca) a 0,073 (altura). Sebbenn *et al.* (2003) relatam divergência genética entre cinco procedências da espécie, aos 18 anos de idade, variando de 0,045 (volume comercial sem casca) a 0,065 (altura). Esse padrão observado de maior variação dentro de procedências em relação à entre procedências está de acordo com o esperado em espécies polinizadas pelo vento, de vida longa e reprodução predominante por cruzamentos (Hamrick, 1983), como no caso de *A. angustifolia*. Ainda, estudos da distribuição da diversidade genética, entre e dentro de populações naturais de *A. angustifolia*, com base em isoenzimas, têm, geralmente, detectado menores níveis de divergência genética entre populações (F_{ST}) do que os observados com base em caracteres quantitativos. Auler *et al.* (2002), estudando nove populações de *A. angustifolia* do

Estado de Santa Catarina, observaram divergência genética entre populações de 0,044. Sousa (2000) detectou divergência genética entre populações de Campos do Jordão (SP), Irati (PR) e Caçador (SC) de 0,098. Marcadores isoenzimáticos são, geralmente, neutros e, portanto, não são afetados pela seleção natural, de forma que a divergência genética detectada entre populações ou procedências possa ser interpretada em termos de deriva genética e migração. Por outro lado, caracteres quantitativos como altura, DAP e volume são considerados caracteres indicativos de vigor e adaptabilidade e são fortemente afetados pela seleção natural, de forma que a diferenciação genética entre populações possa ser interpretada em termos de seleção natural, deriva genética e migração. Quando estimativas da divergência genética entre populações são obtidas para caracteres quantitativos e marcadores neutros, como isoenzimas, diversas hipóteses sobre as causas das diferenças genéticas entre populações podem ser testadas. Se as estimativas de F_{ST} são iguais a Q_{ST} , sugerem que a seleção natural tem pouca influência sobre a diferenciação entre populações para caracteres quantitativos. Se a estimativa de F_{ST} é maior do que Q_{ST} , então a seleção estabilizadora, para o mesmo fenótipo em diferentes populações, está provavelmente limitando a diferenciação entre populações. Se F_{ST} é menor do que Q_{ST} , então a seleção para alternativos fenótipos está provavelmente contribuindo para a diferenciação das populações (Howe *et al.*, 2003). Assim, comparando as estimativas de Q_{ST} aqui obtidas aos 30 anos de idade (TABELA 3) com as descritas por Sousa (2000) para populações procedentes dos mesmos Estados, pode-se supor que a diferenciação entre populações de *A. angustifolia*, para o caráter altura, esteja sob o efeito da seleção natural, para o caráter volume sob o efeito da deriva genética, e para o DAP sob o efeito da seleção estabilizadora. Contudo, esta abordagem é apenas especulativa, e uma resposta mais precisa sobre a origem da diferenciação entre populações de *A. angustifolia* só poderá ser obtida se ambas as estimativas da divergência genética neutra (F_{ST}) e quantitativa (Q_{ST}) forem calculadas simultaneamente para as mesmas populações.

3.4 Correlações Entre Caracteres e Características Geográficas e Climáticas das Procedências

A estimativa do coeficiente de correlação linear de Sperman (\hat{r}) entre os caracteres medidos aos 30 anos de idade e as características geográficas e climáticas dos locais de origem das procedências (TABELA 5) detectaram valores negativos e significativos a 90% de probabilidade apenas entre os caracteres e a latitude de origem das sementes (variação de -0,71 a -0,87), indicando que essa característica geográfica pode estar influenciando o desempenho fenotípico das procedências.

Assim, procedências de menores latitudes (Campos do Jordão) poderiam apresentar melhor desempenho em termos de crescimento do que procedências de maior latitude (Bom Jardim e Lauro Müller). Resultados semelhantes são relatados em outro estudo do comportamento genético de procedências de *A. angustifolia* em Itapeva (Sebbenn *et al.*, 2003), onde foram observadas correlações negativas entre latitude e os caracteres altura (-0,86), DAP (-0,67) e volume (-0,58). Isso reforça a hipótese de que em Itapeva as procedências de origem norte da distribuição natural da espécie são, aparentemente, as mais indicadas para o reflorestamento.

TABELA 5 – Estimativas do coeficiente de correlação de Sperman (\hat{r}) entre caracteres e características geográficas e climáticas das origens das procedências de *A. angustifolia*.

Características	ALT30	DAP30	VOL30
Latitude	-0,71a	-0,77a	-0,72a
Longitude	0,66	0,64	0,62
Altitude	0,26	0,33	0,39
Precipitação	-0,00	0,04	0,18
Temperatura média	0,56	0,51	0,50

(a) $P < 0,1$.

3.5 Correlações Genéticas Entre Caracteres

As estimativas do coeficiente de correlação genética, entre os caracteres em diferentes idades, detectaram algumas associações positivas e significativas, sugerindo a possibilidade de sucessos com a seleção precoce (TABELA 6). As correlações entre altura das árvores medidas aos 2 e 6 anos (0,71) e entre os 6 e 30 anos (0,83) e a correlação entre DAP medido aos 6 e 30 anos de idade (0,40) foram positivas e significativas a 99% de probabilidade. Portanto, existe a possibilidade de que parte dos genótipos, que seriam selecionados para altura e DAP aos seis anos de idade, sejam os mesmos que seriam selecionados aos 30 anos de idade, e vice-verso.

Contudo, a seleção não deve preceder a metade do ciclo de rotação da cultura (Zobel & Talbert, 1984), o que em *A. angustifolia* significa que a seleção não deve ser feita antes dos 8 ou 10 anos de idade (Sebbenn *et al.*, 2003).

As correlações entre os diferentes caracteres medidos aos 30 anos de idade (TABELA 6) foram ainda maiores que as observadas entre os mesmos caracteres em diferentes idades, com valores variando de 0,97 (ALT30 vs. VOL30 e DAP30 vs. VOL30) a 0,99 (ALT30 vs. VOL30), indicando que é possível a seleção direta em um caráter e a capitalização de ganhos indiretos em outros. Resultados semelhantes obtidos em procedências de *A. angustifolia* são reportados por Shimizu (1999) e Sebbenn *et al.* (2003).

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

	ALT6	ALT30	DAP6	DAP30	VOL30
ALT2	0,71**	0,24ns	–	–	–
ALT6		0,83**	0,10ns	–	–
ALT30			–	0,99**	0,97**
DAP6			–	0,40**	–
DAP30			–		0,97**

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

3.6 Progressos Genéticos

Com o intuito de conhecer o potencial do presente material genético para a produção de sementes melhoradas, foram simulados os ganhos esperados com a seleção massal de 40% das melhores árvores no ensaio, aos 30 anos de idade (TABELA 7). Contudo, tendo em vista que o presente teste não permitia a estimativa de coeficientes de herdabilidade, por tratar-se de teste de procedências, foram utilizados os valores de herdabilidade em nível de

plantas individuais (TABELA 7), reportados por Sebbenn *et al.* (2003) para a mesma espécie, no mesmo local de ensaio (E. E. de Itapeva) e para os mesmos caracteres (altura, DAP e volume comercial sem casca), aos 18 anos de idade. Com base nessas herdabilidades, conclui-se que os ganhos esperados em florestas com 30 anos de idade, plantadas a partir de sementes coletadas no presente teste, após a seleção, poderiam atingir entre 4,57% de ganho genético para altura, a 18,55% para o volume comercial sem casca.

TABELA 7 – Estimativa de ganhos esperados com a seleção de 40% das melhores árvores para os caracteres altura (ALT30), DAP (DAP30) e volume (VOL30), aos 30 anos de idade, em procedências de *A. angustifolia*.

Parâmetros	ALT30	DAP30	VOL30
Herdabilidade em nível de plantas – \hat{h}_i^2 *	0,402	0,376	0,248
Resposta esperada pela seleção massal – \hat{R}	4,57%	11,43%	18,55%

(*) Fonte: Sebbenn *et al.* (2003).

4 CONCLUSÕES

- Existem diferenças altamente significativas entre procedências e, o presente teste, embora constituído por apenas cinco procedências, tem potencial tanto para o melhoramento como para a conservação genética de *A. angustifolia*.
- A maior parte da variação genética encontra-se distribuída dentro das procedências.
- A correlação fenotípica entre os caracteres de crescimento altura, DAP e volume comercial sem casca encontram-se altamente correlacionados, de forma que é possível se obter progressos genéticos indiretos em um caráter com a seleção direta em outro.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos Agentes de Apoio à Pesquisa Antonio Carlos de Freitas, Carlos Bagdal e Valdecir Benedito Ferreira, pela mensuração do ensaio, e aos dois revisores anônimos pelas correções e sugestões feitas no prévio manuscrito.

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, 2., 1973, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Federação das Indústrias do Estado do Paraná - FIEP, 1973. 2º Com., trab. 23.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.
- 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.

SEBBENN, A. M. *et al.* Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do Estado de São Paulo.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Report of the second session of the FAO panel of experts on forest gene resources.** Roma: Forest Genetic Resources, 1972. 68 p.

GIANNOTTI, E. *et al.* Variação genética entre procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, 1982. p. 970-975. (Silvicultura, São Paulo, n. 28, 1982).

GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. do 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, para o pinheiro brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 8, p. 127-132, 1973.

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

HAMRICK, J. L. The distribution of genetic variation within and among natural plant population. In: SCHONE-WALD-COX, C. M. *et al.* **Genetics and conservation.** Menlo Park: Benjamin Cummings Publishing Company, 1983. p. 335-348.

KAGEYAMA, P. Y.; 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.

LINDGREN, D. Vitalization of results from provenance tests. In: MTYS, C. (Ed.). **Perspective of forest genetics and tree breeding in a changing world.** Vienna: International Union of Forest Research Organization - IUFRO, 1997. p. 73-85. (IUFRO World Series, v. 6).

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.

HOWE, G. T. *et al.* From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 81, p. 1247-1266, 2003.

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

SEBBENN, A. M. *et al.* Variação genética entre e dentro de procedências de *Araucaria angustifolia* no sul do Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 109-124, 2003.

SHIMIZU, J. Y. Variação entre procedências de Araucária em Ribeirão Branco (SP) aos vinte e três anos de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 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 6^o 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.

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.

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