

Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênies de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SPVariation, heritability and genetic gain in progeny of *Eucalyptus tereticornis* at 25 years of age in Batatais-SPHugo Rodrigo Macedo<sup>1</sup>, Miguel Luiz Menezes Freitas<sup>2</sup>,  
Mário Luiz Teixeira de Moraes<sup>3</sup>, Marcelo Zanata<sup>4</sup> e Alexandre Magno Sebben<sup>5</sup>**Resumo**

A madeira do *Eucalyptus tereticornis* é utilizada para serraria, estruturas, construções, postes, mourões e carvão. O objetivo deste estudo é estimar parâmetros genéticos e correlações genéticas e fenotípicas em caracteres de crescimento e forma de 52 progênies de polinização aberta, coletadas de árvores matrizes de *E. tereticornis*, em três populações da Austrália (20 progênies de Helenvale, 19 de Ravenshoe e 13 de Mt. Garnet). As progênies foram comparadas com três testemunhas comerciais também provenientes da Austrália. O delineamento experimental utilizado para o ensaio foi o de blocos de famílias compactas, com o efeito de procedência alocado nas parcelas e de progênies dentro de procedências nas sub-parcelas. Foram utilizadas dez repetições dos 52 tratamentos, sub-parcelas compostas por seis plantas e o espaçamento adotado foi o de 3 x 2 m. Aos 25 anos de idade foram medidos os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP), a altura total, volume real e a forma das árvores. Foi encontrada variação genética entre e dentro das três procedências. A procedência que apresentou o melhor desenvolvimento em DAP, altura e volume foi a Helenvale. O coeficiente de herdabilidade em nível de média de progênies foi mediano para os caracteres DAP e altura, sendo 0,31 e 0,30, respectivamente. Os caracteres DAP, altura e volume apresentaram altas correlações genéticas (> 0,9), indicando a possibilidade de utilizar-se a seleção indireta. Os ganhos genéticos esperados com a seleção foram estimados em 12,4% para DAP e 8,5% para altura de plantas. Estes resultados subsidiarão a transformação do teste em um Pomar de Sementes por Mudanças e formação de um Pomar de Sementes Clonal.

**Palavras-chave:** Caracteres quantitativos, domesticação de espécies, *Eucalyptus*, melhoramento florestal, parâmetros genéticos.

**Abstract**

The wood of *Eucalyptus tereticornis* is intensively used for timber, structures, buildings, poles, posts and coal. The aim of this study was to estimate genetic parameters and genetic and phenotypic correlations in growth and stem form traits of 52 open-pollinated progenies of *E. tereticornis* sampled from three Australian populations (20 progenies from Helenvale, 19 from Ravenshoe and 13 from Mt. Garnet). The progenies were compared with three commercial control also from Australian. The experimental design used was the compact family block, with the effect of provenance allocated in the plots and progenies within provenances in the sub-plots. Ten repetitions of the 52 treatments, sub-plots with six plants and the spacing of 3 x 2 m was used. At 25 years of age it was measured the diameter at breast height (DBH), total height, true volume and the stem form. We found genetic variation among and within the three provenances and the possibility of obtaining high gains from mass selection and individual among and within progenies. The provenance Helenvale showed the best development for DBH, height and volume. The traits DBH, height and volume showed high genetic correlations (> 0.9), indicating the possibility to use the indirect selection. The coefficient of heritability on a progeny mean for the traits DBH and height was median, being 0.31 and 0.30, respectively. The expected genetic gain with the selection were estimated at 12.4% for DBH and 8.5 % for plant height. These results will subsidize the transformation of the provenance and progeny test in a seedling seed orchard and a clonal seed orchard.

**Keywords:** *Eucalyptus*, genetic parameters, quantitative traits, species domestication, tree breeding.

<sup>1</sup>Mestrando em Agronomia, Sistemas de Produção. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / FEIS – Faculdade Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP. E-mail: [hugoengenheiro@yahoo.com.br](mailto:hugoengenheiro@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Pesquisador Científico, Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas. Instituto Florestal, Rua do Horto, 931, São Paulo, SP, 02377-000 – E-mail: [miguellmfreitas@yahoo.com.br](mailto:miguellmfreitas@yahoo.com.br), [alexandresebbenn@yahoo.com.br](mailto:alexandresebbenn@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Professor Titular Departamento de Fitotecnia. UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / FEIS – Faculdade Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP. E-mail: [teixeira@agr.feis.unesp.br](mailto:teixeira@agr.feis.unesp.br)

<sup>4</sup>Pesquisador Científico, Instituto Florestal, Instituto Florestal, Rua do Horto, 931, São Paulo, SP, 02377-000 – E-mail: [marcel\\_zanata@netsite.com.br](mailto:marcel_zanata@netsite.com.br)

## INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus* é atualmente a espécie arbórea mais cultivada no Brasil, principalmente para a produção de papel e celulose (SILVA et al., 2007). De acordo com Foelkel (2009), as áreas de florestas plantadas com *Eucalyptus* estão em franca expansão na maioria dos estados brasileiros. Segundo ABRAF (2012) os estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Mato Grosso do Sul apresentam crescimento médio no reflorestamento com o gênero *Eucalyptus* de 7,1% ao ano, destacando-se Minas Gerais com a maior área de floresta plantada do país até 2012, ocupando 1,23 milhões de hectares, seguido por São Paulo com 963,3 mil hectares, o que correspondem respectivamente a 21,5% e 16,8% da área de floresta plantada no Brasil.

As espécies desse gênero destacam-se como as de maior plasticidade em relação à adaptação às condições brasileiras. As causas de tal plasticidade são várias, destacando-se a adaptação às diferentes condições ecológicas, no que diz respeito a pluviosidade e solos e ao grande número de espécies e procedências de *Eucalyptus* introduzidas no Brasil (SATO et al., 2007).

O *Eucalyptus tereticornis* vem apresentado bom crescimento e os estudos realizados com diferentes procedências revelaram que a espécie apresenta bom desempenho silvicultural no Brasil (ASSIS et al., 1983). Assis et al. (1983) estudando o comportamento de procedências da mesma espécie, no Vale do Rio Doce-MG, constataram que as procedências apresentaram alturas médias, tanto aos 6 quanto aos 12 meses de idade, semelhantes as demais espécies do gênero.

Devido o potencial que *E. tereticornis* vem apresentando nos estudos já realizados no Brasil, o objetivo geral do presente trabalho foi estimar parâmetros genéticos para caracteres de crescimento e forma em um teste de procedências e progênies de *E. tereticornis*, com 25 anos de idade, estabelecido em Batatais, SP. Mais especificamente objetivou-se: i) estimar coeficientes de variação genética e de herdabilidade para caracteres de crescimento e forma; ii) estimar coeficientes de correlações fenotípicas e genéticas entre caracteres de crescimento e forma; iii) quantificar os progressos esperados com a seleção sequencial entre e dentro de progênies.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material testado

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando-se sementes de polinização aberta, coletadas de 52 árvores matrizes de três populações naturais de *E. tereticornis*, oriundas de Helenvale (20 progênies), Ravenshoe (19 progênies) e Mt. Garnet (13 progênies), Austrália. As progênies foram comparadas com três testemunhas comerciais provenientes da Austrália: testemunha 1 (Mount Poverty, Norte de Queensland), Lat 15°40', Long 145°10'; testemunha 2 (Mount Garnet, Queensland), Lat 18°30', Long 144°45' e testemunha 3 (Helenvale, Queensland), Lat 15°45', Long 145°15'. O teste de procedências e progênies de *E. tereticornis* foi instalado em fevereiro de 1986 na Floresta Estadual de Batatais (latitude 20°56'08" S, longitude 47°37'20" W e altitude de 860 m), do Instituto Florestal de São Paulo. A área está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí – Mirim. De acordo com o sistema de Classificação Climática de Köppen, o clima da região é classificado como mesotérmico úmido de verão quente (Cwa), ou seja, verão quente e chuvoso com inverno frio e seco. Apresenta, no mês mais seco, totais de chuvas inferiores a 30 mm, temperaturas médias superiores a 22° C no mês mais quente e temperaturas menores que 18° C no mês mais frio. As geadas são raras ou pouco frequentes e a deficiência hídrica é pequena ou nula. A precipitação média regional varia entre 1100 e 1700 mm anuais (IPT, 1999). O delineamento experimental utilizado para o ensaio foi o de blocos de famílias compactas, com o efeito de procedência alocado nas parcelas e de progênies nas sub-parcelas. As sub-parcelas foram compostas por seis plantas dispostas em linha e foram utilizadas dez repetições (blocos). O espaçamento adotado foi o de 3 x 2 m, com bordadura dupla para todo o ensaio (duas linhas de bordadura). As testemunhas foram obtidas por meio de sementes de matrizes comerciais e introduzidas no experimento de forma aleatória nas sub-parcelas.

### Coleta de dados

Os dados foram coletados em março de 2011, quando as árvores tinham 25 anos de idade. Os caracteres analisadas foram: a) diâmetro à altura do peito (DAP - cm); b) altura total de plantas (H - m); c) forma do fuste (FOR), com base em uma

escala de notas sugerida por Borsato (2000), variando de um (tortuosidade em toda extensão) a cinco (perfeitamente reto); d) porcentagem de sobrevivência das progênies no campo; e) volume real, calculado pela expressão:

$$V_r = [\pi(DAP)^2 hF_f] / 4,$$

em que,  $h$  é a altura e  $F_f$  o fator de forma (utilizou-se o fator de forma com casca de 0,4558 estimado por Oliveira (2000) para a média de várias espécies de *Eucalyptus*).

O incremento médio anual (IMA) foi obtido pelas expressões:

$$IMA = DAP / t,$$

$$IMA = Alt / t$$

$$IMA = V_r / t$$

em que,  $t$  é a idade das plantas (25 anos).

### Estimativa de parâmetros genéticos e estatísticos

Para verificar se existiam diferenças significativas entre procedências e progênies dentro de procedências, utilizou-se a análise de variância, estimada utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System, SAS, 1999). Para tanto, utilizouse o seguinte modelo aditivo misto:

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

em que,  $Y_{ijkl}$  é o valor fenotípico do  $l$ -ésimo indivíduo da  $k$ -ésima progênie da  $j$ -ésima procedência na  $i$ -ésima repetição;  $\mu$  é o termo fixo da média total;  $b_i$  é o efeito aleatório da  $i$ -ésima repetição;  $t_j$  é o efeito fixo 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 progênies por procedência);  $l = 1 \dots n$  ( $n$  é o número de plantas por progênie). Com exceção da média e da fonte de variação de procedências, todos os demais efeitos foram assumidos como aleatórios. A variância fenotípica dentro das sub-parcelas foi obtida pela média ponderada dos quadrados médios dentro das subparcelas.

Para as estimativas de parâmetros genéticos foi utilizado dois modelos: i) assumindo-se que as progênies de polinização aberta de *E. tereticornis* foram geradas pelo cruzamento aleatório entre um grande número de árvores e, assim, são compostas apenas por indivíduos parentes no grau de meios-irmãos; ii) assumindo-se que as progênies de polinização aberta de *E. tereticornis* foram geradas por sistema misto de reprodução (misturas de cruzamentos e autofecundações) e cruzamentos correlacionados e, assim, são compostas por indivíduos parentes em diferentes graus, como irmãos de autofecundação, meios-irmãos, irmãos completos e irmãos de autofecundação e cruzamentos.

Os coeficientes de herdabilidade, o coeficiente de variação genética e medidas de correlações entre caracteres foram estimados com base em Namkoong (1979). Foram estimados os coeficientes de herdabilidade em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ), herdabilidade dentro de progênies ( $h_d^2$ ), herdabilidade em nível de plantas individuais ( $h_i^2$ ), acurácia seletiva ( $Ac$ ) e coeficiente de variação genética entre progênies ( $CV_g$ ), utilizando-se as seguintes expressões:

$$\hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{J} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{JK}},$$

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

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2},$$

$$AC = \sqrt{\hat{h}_m^2},$$

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_p^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

em que:  $\sigma_A^2$  é a variância genética aditiva,  $\sigma_p^2$  é a variância genética entre progênies,  $\sigma_e^2$  é a variância ambiental,  $\sigma_d^2$  é a variância fenotípicas dentro das sub-parcelas,  $J$  é o número de repetições,  $K$  é o número de plantas por parcela,  $r_{xy}$  é o coeficiente de parentesco dentro das progênies, assumido como sendo de 0,25 para o modelo I e de 0,422 para o modelo II,  $J$  é o número de repetições,  $K$  é o número de plantas por parcela e  $m$  é a média dos caracteres.

As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres DAP, altura, volume e forma do fuste

foram estimada dos valores individuais de acordo com as equações:

$$\hat{r}_{F_{XY}} = \frac{\hat{\sigma}_{F_X F_Y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{F_X}^2 \cdot \hat{\sigma}_{F_Y}^2}}$$

$$\hat{r}_{g_{XY}} = \frac{\hat{\sigma}_{P_X P_Y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{P_X}^2 \cdot \hat{\sigma}_{P_Y}^2}}$$

em que,  $r_{F_{xy}}$  e  $r_{g_{xy}}$  são os coeficientes de correlação fenotípica e genética,  $\sigma_{F_X F_Y}$  e  $\sigma_{P_X P_Y}$  são os produtos médios fenotípicos e genéticos entre os caracteres  $x$  e  $y$ , estimados das análises de covariância;  $\sigma_{F_X}^2$ ,  $\sigma_{P_X}^2$  e  $\sigma_{F_Y}^2$ ,  $\sigma_{P_Y}^2$  são as variâncias fenotípicas e genéticas dos caracteres  $x$  e  $y$  respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Variação ambiental e genética

A análise de variância revelou diferença significativa a 5% de probabilidade entre médias de procedências para o DAP e a 1% de probabilidade para o volume real (Tabela 1). Também foram detectadas diferenças significativas entre progênies dentro de procedência a 5% de probabilidade para os caracteres DAP e altura. Estes resultados sugerem a presença de variação genética entre procedências e entre progênies dentro de procedências, com a possibilidade de melhoramento a partir da seleção das procedências e das progênies mais produtivas. Variação genética significativa entre procedências da espécie tem sido relatadas em outros estudo realizado no Brasil Ferreira et al. (1986) estudando o crescimento em diâmetro e em altura em progênies da procedência Kennedy River de *E. tereticornis* na região sub-úmida do estado do Maranhão, também

encontraram variações significativa entre progênies. Oliveira (1994) estudando o comportamento silvicultural de procedências e progênies de *E. tereticornis* aos 11 anos de idade, na região de Anhembi-SP, para os caracteres DAP, altura, área basal, volume, sobrevivência, fenologia da floração e da frutificação, além do número de sementes viáveis por quilograma de sementes, encontrou diferenças significativas entre as procedências para os caracteres, destacando-se em produtividade os lotes das progênies da procedências de Mount Garnet e Mareeba.

### Médias e incremento médio anual

O experimento apresentou alta porcentagem de sobrevivência no campo 87,5%. Uma parte das mortes ocorreu provavelmente devido ao efeito de dominância e a outra foi devida a causas naturais como à quebra de galhos e ponteiros pelo vento. A média da população testada foi maior à média das três testemunhas para os caracteres DAP (16,90), altura (19,51), volume (0,2600) (Tabela 2).

O Incremento Médio Anual (IMA) foi de 0,70 cm em DAP e 0,81m em altura, aos vinte e cinco anos de idade. Em comparação ao IMA estimado em outras espécies de *Eucalyptus* testadas em São Paulo, os valores aqui estimados foram inferiores. Em *E. camaldulensis*, Moraes et al. (2007) obtiveram IMA de 0,96 cm em DAP e 0,96 m em altura aos 19 anos, em Luiz Antônio-SP. Berti et al. (2010), obtive IMA de 1,18 cm em DAP e 1,09 m em altura em *E. resinifera* com vinte e um anos de idade e Sato et al. (2007) obtiveram IMA de 1,84 cm em DAP e 1,07 m em altura em *E. cloeziana* com vinte e quatro anos de idade. Esta comparação demonstra que os valores obtidos no presente trabalho, embora menores, evidenciam o potencial da espécie para o melhoramento genético Este material testado esta em fase de domesticação e a seleção

**Tabela 1.** Quadrados médios e respectivas médias para as variáveis DAP, altura, volume real e forma em procedências e progênies de *Eucalyptus tereticornis*, aos 25 anos de idade, em Batatais – SP.

**Table 1.** Mean squares and means for DBH, height, volume and form in provenances and progenies of *Eucalyptus tereticornis*, at age 25 years in Batatais - SP.

Fonte de variação	Graus de liberdade	DAP (cm)	Altura (m)	Volume real (m <sup>3</sup> )	Forma
Blocos	9	80,4502*	79,8791**	0,1680 **	0,0866
Procedências	2	316,6337*	236,2515	0,5204 **	0,0194
Progênies/procedências	49	45,5292*	27,4467*	0,0628	0,0884
Erro entre	423	42,5416	27,3938	0,0695	0,0883
Dentro	1295	33,8583	20,1135	0,0495	0,0772
Média das progênies	-	16,90	19,51	0,2600	3,02
Média das testemunhas	-	16,35	18,98	0,2300	3,16

\*:  $P \leq 0,05$ ; Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

\*\* :  $P \leq 0,01$ . Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

dos melhores genótipos da melhores progênies da melhor procedência, para comporem um pomar de sementes por mudas e ou clonal podem aumentar o IMA das futuras gerações, especialmente devido ao fato de terem sido detectadas diferenças significativas entre procedências e entre progênies dentro de procedências para alguns dos caracteres de crescimento.

As procedências de *E. tereticornis* com maiores médias para os caracteres de crescimento foram as provenientes de Helenvale, apresentando superioridade nos caracteres DAP e altura. A média da nota para a forma de fuste foi 3,02, aproximando-se de uma árvore reta na parte inferior, com tortuosidade no topo (nota 3). No entanto, foi constatado que não existe diferença significativas (5% de probabilidade) para esse caráter entre as procedências. A testemunha comercial de *E. tereticornis* de Helenvale (Queensland), apresentou o segundo melhor desenvolvimento para o DAP e altura, Analisando o caráter forma, a testemunha comercial de Helenvale (Queensland) revelou o melhor resultado (Tabela 2).

O crescimento volumétrico apresentou média para as três procedências conjuntamente de 0,2600. Moraes et al. (2007) analisando uma população base de *E. camaldulensis* com 19 anos de idade, verificaram crescimento médio

da população de 18,32 cm para o DAP, sendo esse valor superior quando comparado ao presente estudo. Possivelmente essa superioridade no crescimento deve-se à utilização de maiores espaçamentos de plantios (4 x 4 m). Na maioria das espécies florestais de rápido crescimento, como os *Eucalyptus*, as maiores respostas em crescimento diamétrico, geralmente estão relacionadas com o aumento nos espaçamentos de plantios (MACEDO et al., 2006).

### Varição genética e herdabilidade

O coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) foi de médio para o volume (7,6%) e baixo para o DAP (3,7%). Resultados semelhantes foram observados por Kageyama e Vencovsky (1983) para procedências de *E. grandis* em Anhembi (2,8%), Brotas (4,0%) e Lençóis Paulista (3,8%). Esses valores, mostram razoável variação genética nas três procedências de *E. tereticornis*, a qual pode ser explorada através de seleção. Para o caráter altura, o coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) foi baixo (2,8%) (Tabela 3). Em estudo realizado por Scanavaca Junior e Garcia (2003) com *E. urophylla*, foram obtidas estimativas do coeficiente de variância genética de 2,4% para esse caráter. Isso sugere que o caráter apresenta em geral menor variação genética entre progênies.

**Tabela 2.** Médias para os caracteres DAP, altura, volume e forma para procedências e testemunhas de progênies de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade, em Batatais-SP.

**Table 2.** Means for DBH, height, volume and stem form for provenances and controls of *Eucalyptus tereticornis* progenies at age 25 years in Batatais- SP.

Amostra	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma (nota)
Helenvale	17,23	19,89	0,2700	2,98
Ravenshoe	16,79	19,41	0,3000	3,06
Mt Garnet	16,55	19,09	0,2100	3,02
Testemunha 1	16,31	18,54	0,2800	3,16
Testemunha 2	15,88	18,47	0,2900	3,00
Testemunha 3	17,02	19,54	0,3100	3,33

**Tabela 3.** Estimativas de parâmetros genéticos para as variáveis DAP, altura, volume e forma, assumindo progênies de *Eucalyptus tereticornis* como meios-irmãos (MI) e sistema misto de reprodução (SM) aos 25 anos de idade, em Batatais-SP.

**Table 3.** Estimates of genetic parameters for DBH; height; volume and form, assuming the progenies of *Eucalyptus tereticornis* as being half-sibs (MI) and a mixed mating system (SM) at age 25 years in Batatais-SP.

Parâmetros	DAP	Altura	Volume	Forma
$CV_g$ (%)	3,70	2,80	7,60	0,60
$\hat{h}_m^2$	0,31	0,30	0,21	0,17
$AC = \sqrt{\hat{h}_m^2}$	0,60	0,55	0,45	0,41
$\hat{h}_i^2$ (MI)	0,04	0,05	0,03	0,02
$\hat{h}_i^2$ (SM)	0,02	0,03	0,01	0,01
$\hat{h}_d^2$ (MI)	0,03	0,04	0,02	0,01
$\hat{h}_d^2$ (SM)	0,01	0,02	0,01	0,01

$CV_g$  (%) = coeficiente de variação genético;  $\hat{h}_m^2$  = herdabilidade entre media de progênies;  $AC = \sqrt{\hat{h}_m^2}$  = acurácia seletiva;  $\hat{h}_i^2$  = herdabilidade em nível de plantas individuais.  $\hat{h}_d^2$  = herdabilidade dentro de progênies. MI significa que as progênies são meios irmãos. MS significa que as progênies foram geradas por cruzamentos mistos e correlacionados e são compostas por diferentes graus de parentesco, indicando poucas possibilidades de melhoramento genético pela seleção massal no experimento e dentro de progênies.

O coeficiente de herdabilidade em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ) foi mediano para os caracteres DAP e altura, sendo 0,31 e 0,30, respectivamente, mais baixo para a forma do tronco (0,17), sugerindo para os dois primeiros caracteres um maior controle genético em nível de média de progênies. De acordo com Vencovsky e Barriga (1992), as herdabilidades em nível de média de progênies podem ser superiores às individuais, quando os efeitos ambientais são minimizados pelo número de repetições e de plantas por parcela. Portanto, a seleção pode ser mais eficiente com base nas médias de progênies do que em plantas individuais. Os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas individuais ( $h_i^2$ ) e dentro de progênies ( $h_d^2$ ) foram baixas para ambos os modelos, assumindo que as progênies são meios irmãos (MI) e foram geradas por cruzamentos mistos e correlacionados (MS) e são compostas por diferentes graus de parentesco. Claramente as estimativas das herdabilidade mostram que o melhoramento das presentes populações deve ser conduzido pela seleção das melhores progênies.

### Correlações fenotípicas e genéticas

A estimativa da correlação genética entre DAP e altura ( $\hat{r}_g = 0,909$ ) foi positiva, alta e significativamente diferente de zero, indicando forte associação entre estes dois caracteres (Tabela 4). Este resultado era esperado, visto que um grande número de estudos desta associação genética em espécies arbóreas tem mostrado forte correlação genética entre DAP e altura (SEBBENN et al., 2004, 2008, 2009; SEBBENN, 2007; FREITAS et al., 2008). Este resultado é importante, pois indica a possibilidade de se conseguir aumentar a altura das árvores com seleção para maior DAP.

As variáveis DAP e volume mostraram-se fortemente associadas. De acordo com Sampaio et al. (2002) a seleção quando é feita em variáveis com correlações positivas e de alta magnitude, espera-se uma alta resposta correlacionada, ou seja, ocorre uma vantagem na seleção que é a mesma para esses caracteres. Neste caso, o diâmetro apresentou forte correlação genética com o volume. Kageyama e Vencovsky (1983) estudando variação genética em progênies de *E. grandis* encontraram correlações genéticas de 0,99 de DAP com volume. As estimativas das correlações fenotípicas evidenciaram associações positivas, significativas. No entanto, foram menores que as correlações genéticas. A seleção indireta pode ser mais eficiente nesse caso. As associações positivas entre os caracteres indicam que a seleção em um caráter pode trazer ganhos indiretos em

outro, em especial entre DAP e volume que apresentaram as maiores correlações (Tabela 4).

**Tabela 4.** Correlações genéticas ( $r_g$ ) e fenotípicas ( $r_F$ ) em progênies de *Eucalyptus tereticornis* para caracteres de crescimento aos 25 anos de idade, em Batatais-SP.

**Table 4.** Genetic correlations ( $r_g$ ) and phenotypic correlations ( $r_F$ ) in progênies of *Eucalyptus tereticornis* for growth traits at age 25 years in Batatais-SP.

Caracteres	$\hat{r}_g$	$\hat{r}_F$
DAP vs Altura	0,909*	0,296
DAP vs Volume	0,986**	0,893 *
Altura vs Volume	0,914*	0,260
DAP vs Forma	0,250	0,173
Altura vs Forma	0,170	0,137
Volume vs Forma	0,243	0,032

\*:  $P \leq 0,05$ ; Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t (Student)  
\*\*:  $P \leq 0,01$ . Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t (Student)

Os caracteres DAP, altura e volume apresentaram fraca correlação genética com o caráter Forma, mostrando uma independência entre os caracteres de crescimento e forma do tronco. Esse fato é de suma importância, já que a seleção para uma delas não trará reflexos negativos à outra, conforme enfatizam Falconer e Mackay (1996). As correlações fenotípicas em nível de médias de famílias, para locais em conjunto, mostraram-se invariavelmente inferiores às obtidas em nível genético aditivo. A utilização da herdabilidade associada às correlações genéticas, pode auxiliar o melhorista de plantas a maximizar seus ganhos no processo de seleção de caracteres quantitativos (ATLIN; FREY, 1990) e os resultados deste estudo demonstram que a seleção deve ser feita inicialmente para um caractere de crescimento. O DAP, por sua maior precisão de mensuração e o caráter mais indicado para a seleção.

### Ganhos na seleção

Os caracteres DAP, altura e volume apresentaram ganhos esperados altos com a seleção entre e dentro de progênies, sendo respectivamente de 12,4, 8,52 e 22,4% (Tabela 5). A média da população atual para DAP é de 16,29 cm e a esperada na população melhorada, depois da seleção e recombinação é de 18,31 cm. Para o caráter altura, a média atual é 19,04 m e com a seleção e recombinação após seleção, a média esperada é de 20,66 m (Tabela 7). Estes resultados são válidos para populações da espécie, aos 25 anos de idade crescendo nas condições ambientais de Luiz Antônio. Para o estabelecimento de um pomar de sementes por mudas foram selecionadas 25 progênies e para a obtenção dos clones 15 progênies.

**Tabela 5.** Ganhos na seleção em porcentagem [ $G_{ed}$  (%)] para DAP, altura, volume e forma em 52 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade, em Batatais-SP.

**Table 5.** Gains in selection in percentage [ $G_{ed}$  (%)] for DBH; height; volume and form in 52 open-pollinated *Eucalyptus tereticornis* progenies at age 25 years in Batatais-SP.

Parâmetros	DAP (cm)	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Forma
$G_{ed}$	2,02	1,628	0,55	0,05
$G_{ed}$ (%)	12,4	8,5	22,4	1,7
$\bar{x}_{População}$	16,29	19,04	0,25	2,97
$\hat{x}_{Melhorada} = \bar{x}_{População} + G_{ed}$	18,31	20,66	0,30	3,02

$G_{ed}$  = ganho na seleção;  $G_{ed}$  (%) = ganhos esperados com a seleção;  $\bar{x}_{População}$  = média da população;  $\hat{x}_{Melhorada} = \bar{x}_{População} + G_{ed}$  = média da população melhorada.

## CONCLUSÕES

Existe variação genética entre procedências e entre progênies dentro de procedências;

Os caracteres DAP, altura e volume estão fortemente correlacionados em termos genéticos e podem ser melhorados pela seleção indireta;

A procedência de Helenvale foi a de melhor desempenho para os caracteres de crescimento estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF, 2012. Disponível em: <[HTTP://www.abraflor.org.br/ABRAF09-BR.asp](http://www.abraflor.org.br/ABRAF09-BR.asp)>. Acesso em: 06 mar. 2012.

ASSIS, T. F.; FREITAS, A. L.; MAGALHÃES, J. G. R.; NOVELLI, A. B.; ULHOA, M. A. Teste de procedência de *Eucalyptus tereticornis* no Vale do Rio Doce. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 168-169, 1983.

ATLIN, G.N.; FREY, K.J. Selecting oat lines for yield in low productivity environments. *Crop Science*, Madison, v. 30, p. 556-561, 1990.

BORSATO, R. *Variação genética em Pinus greggii Engelm. e seu potencial para o reflorestamento no sul do Brasil*. 2000, 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. Introduction to quantitative genetics. 4.ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FERREIRA, J. E. M.; KROGH, H. J. O.; MENCK, A. L. M.; ODA, S. Teste de procedência de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus tereticornis* para a região sub-úmida do Estado do Maranhão. *Silvicultura*, São Paulo, v. 11, n. 41, p. 116, 1986.

FOELKEL, C. *Os Eucaliptos e os Selos Verdes*. São Paulo, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.eucalyptus.com.br/newspt\\_jan08.html](http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan08.html)> Acesso em: 10 mar. 2012.

FREITAS, M.L.M.; SEBBENN, A.M.; ZANATTO, C.S.; MORAES, E.; MORAES, M.A. Variação genética para caracteres quantitativos em população de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) HARMS. *Revista do Instituto Florestal*. São Paulo, v. 20, n. 2, p. 165-173, dez. 2008.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Sapucaí – Mirim/Grande – Relatório Zero*. São Paulo, 1999, 3 v., CD-ROM.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, IPEF, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

MACEDO, R.L.G.; BEZERRA, R.G.; VENTURIN, N.; VALE, R.S.; OLIVEIRA, T.K. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônomicas de milhos cultivados em sistema Silviagrícola. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 701-709, 2006.

MORAES, M.A.; ZANATTO, A.C.S.; MORAES, E.; FREITAS, M.L.M. SEBBENN, A.M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antonio-SP. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 113-118, 2007.

OLIVEIRA, M. C. *Divergência genética em uma população de Eucaliptus camaldulensis*. 2000, 30 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2000.

- OLIVEIRA, V. R. **Estudos para formação de populações base de *Eucalyptus tereticornis* Sm.** 1994, 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAUJO, A. J. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Shiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p.625-636, 2002.
- SATO, A. S.; SEBBENN, A. M.; MORAES, E.; ZANTTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M. Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos de idade em Luiz Antonio-SP. **Revista do Instituto Florestal**. São Paulo, v. 19, n. 2, p. 93-100, 2007.
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Potencial de melhoramento genético em *Eucalyptus urophylla* from Ilhe Island Flores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 23-32, dez. 2003.
- SEBBENN, A. M. Sistema de reprodução e endogamia em espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*. WORKSHOP EM MELHORAMENTO FLORESTAL, 3, Piracicaba: **Anais...** Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 65 p. 2007.
- SEBBENN, A. M.; VILAS BOAS, O.; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**. São Paulo, v. 20, p. 95-102, 2008.
- SEBBENN, A. M.; FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAES, E. Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental. **Revista do Instituto Florestal**. São Paulo, v. 21, p. 27-37, 2009.
- SEBBENN, A.M.; PONTINHA, A.A.S.; FREITAS, S.A.; FREITAS, J.A. Variação genética em cinco procedências de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. No Sul do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**. São Paulo, v. 16, n. 2, p. 91-99, 2004.
- SILVA, F. F.; SILVA, D. D.; ARNOLD, A. Avaliação do desempenho inicial de procedências de *Eucalyptus tereticornis* Smith no Vale do Rio Doce - MG. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 270-275, jul./set. 2007.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

Recebido em 29/05/2013  
Aceito para publicação em 14/10/2013