

AVALIAÇÃO GENÉTICA DE PROGÊNIES DE MEIO-IRMÃOS DE *Eucalyptus urophylla* UTILIZANDO OS PROCEDIMENTOS REML/BLUP E E(QM)**GENETIC EVALUATION OF HALF-SIB *Eucalyptus urophylla* PROGENIES BY THE REML/BLUP AND MINIMUM SQUARES PROCEDURE**

Maria das Graças de Barros Rocha¹ Ismael Eleotério Pires² Aloisio Xavier³
Cosme Damião Cruz⁴ Rodrigo Barros Rocha⁵

RESUMO

Realizou-se avaliação genética em cinco testes de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake procedentes da Indonésia, com o uso dos procedimentos REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não-viesada) e pelo método dos quadrados mínimos E (QM). Os ensaios foram estabelecidos separadamente por procedência, sendo o delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições e parcelas lineares de seis plantas, no espaçamento 3,0 x 2,0 metros, em Guanhães, MG. Nos cinco testes avaliados aos 58 meses de idade, para a característica diâmetro à altura do peito (DAP), apresentaram valores dentro dos padrões da espécie, além de exibir variabilidade genética significativa, pelo teste F a 1% de probabilidade. Os coeficientes de variação genética aditiva apresentaram valores maiores no teste TP-71 originado de Wetar e no TP-68 originado de Alor, e nos outros testes apresentaram valores similares para a característica diâmetro à altura do peito (DAP). Os ganhos de seleção foram estimados na ordem de 12,8; 22,9; 9,5; 21,0 e 25,3% e tamanho efetivo populacional (N_e) na ordem de 60,2; 58,0; 131,8; 167,9 e 224,1 para os testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71 respectivamente. O ganho de seleção no Pomar de Sementes Clonal (PSC) foi de 26,8 % com a seleção dos 21 indivíduos portadores dos maiores valores genéticos aditivos. Nos dois procedimentos, máxima verossimilhança restrita (REML) e esperança de quadrados mínimos E(QM), os valores dos parâmetros genéticos foram semelhantes, exceto entre famílias, em que o procedimento REML proporcionou valores mais elevados com acurácia superior a 70% em todas as populações, mostrando-se como ferramenta apropriada para esse fim.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*; parâmetros genéticos; melhoramento florestal.

ABSTRACT

Five progeny tests with half-sibs *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake were evaluated. Four of them were from provenances Indonesia and one of them from Brazil. It was used the REML/ BLUP (restricted maximum likelihood / best linear unbiased prediction) procedures and the minimum square method for the estimation of genetic values. The tests were established separately according to the origin, in a complete randomized block design, with five replications and row plots of six plants in 3.0 x 2.0 meter spacing in Guanhães, Minas Gerais State. When the plants were 58 months-old for the characteristics of diameter at breast height (DAP), the five evaluated tests showed standard species values, besides presenting significant genetic variability by the F test at 1% of probability. The coefficients of additive genetic variation presented greater values in the TP-71 test from Wetar and TP-68 from Alor, and presented similar values in other tests for the diameter at breast height (DAP) characteristic. Selection gains were estimated at values of 12.8; 22.9; 9.5; 21.0 and 25.3%, and the effective population size (N_e) at values of 60.2; 58.0; 131.8; 167.9 and 224.1 for the TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 and TP-71 tests, respectively. A selection gain of 26.8 % was obtained in the clonal seed orchard with selection of 21 plants that were carriers of the greatest additive genetic values. In both procedures, the values of the genetic parameters were similar, except among families, in which the REML procedure obtained higher values with accuracy higher than 70% in all populations, proving to be

1. Engenheira Florestal, Dr^a, Técnica do Instituto Estadual de Florestas, CEP 30180-090, Belo Horizonte (MG).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa (MG). iepires@ufv.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa (MG). xavier@ufv.br
4. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa (MG).
5. Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa (MG).

Recebido para publicação em 26/04/2005 e aceito em 16/10/2006.

appropriate for this purpose.

Keywords: *Eucalyptus urophylla*; genetic parameters; forest improvement.

INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus urophylla* ocorre em algumas ilhas orientais do arquipélago de Sonda: Timor, Flores, Adonara, Lomblen, Pantar, Alor e Wetar situadas ao norte da Austrália, entre as latitudes de 7° a 10°S, em altitudes variando de 300 a 3.000 metros, associado ao *Eucalyptus alba* nas faixas costeiras de baixa e média altitude com clima tropical semi-árido (Pryor e Johnson, 1971; Mora e Garcia, 2000). Foi introduzido no Brasil na década de 70 com sementes colhidas em diversas ilhas pertencentes à Indonésia. Constatado o seu potencial, os primeiros plantios foram feitos com sementes produzidas nas áreas de introdução visando à produção de madeira para celulose e carvão vegetal. Apresentou boa adaptação em diversas regiões edafoclimáticas que apresentavam limitações para o crescimento do *Eucalyptus grandis* e, sobretudo tolerância ao cancro do eucalipto ocasionado pelo patógeno *Cryphonectria cubensis* (Brumer) Hodges. Mora e Ferreira (1978), observaram base genética restrita em consequência de endogamia nas populações de *Eucalyptus urophylla* em função do pequeno tamanho efetivo inicial nas áreas produtoras de sementes. Novas introduções foram feitas por várias empresas a partir da década de 80, com a finalidade de ampliação da base genética e escolha de procedências.

O *Eucalyptus urophylla* apresenta alto nível de variação entre procedências. Nos estudos realizados em Belo Oriente, MG e Linhares, ES, Brasil *et al.* (1986) concluíram que as procedências de Flores mostraram superioridade em crescimento quando comparadas com as do Timor nos dois locais de plantio. Em Paraopeba, MG, no estudo de comportamento de 12 procedências de *Eucalyptus urophylla* originadas da Indonésia, Fonseca *et al.* (1986) concluíram que duas procedências do Timor tiveram maior crescimento em diâmetro e altura.

Por causa do seu grande potencial de adaptação e rusticidade, capacidade de brotação, rápido crescimento, o *Eucalyptus urophylla* tem sido a principal espécie componente de híbrido com o *Eucalyptus grandis*. O híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* viabilizou plantios tolerantes ao cancro no litoral do Espírito Santo, ao déficit hídrico na região central, à seca de ponteiros do Vale do Rio Doce (SPEVRD), adaptados a ambientes marginais, além de proporcionar boas características relacionadas à qualidade de madeira tanto para celulose quanto para carvão vegetal. Estima-se que hoje existam 600.000 hectares plantados no Brasil, incluindo a espécie pura e os híbridos com *Eucalyptus grandis* (Pigato e Lopes, 2001).

O melhoramento genético depende do acerto na escolha dos melhores indivíduos para serem os genitores das próximas gerações (Cruz e Carneiro, 2003). Uma das maneiras de identificar os indivíduos portadores de genes desejáveis se faz com a avaliação genética dos candidatos à seleção. A seleção deve ser feita nos valores genéticos aditivos dos indivíduos que serão utilizados na recombinação e nos valores genotípicos dos indivíduos que serão clonados, sendo necessária a obtenção da estimativa da variância genética aditiva para a predição de ganhos partindo de estratégias baseados na reprodução sexuada e também a variância genética não aditiva para estratégias baseadas na reprodução assexuada.

Dentre os principais procedimentos para a estimação dos parâmetros genéticos em testes de progênes, destaca-se a análise de variância (ANOVA) para a decomposição das variâncias dos quadrados médios e o procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não-viesada). Na ANOVA, os componentes de variância são obtidos pela decomposição dos quadrados médios com base nas suas esperanças matemáticas (Cruz e Carneiro, 2003). Segundo Resende (2002a), o procedimento adequado para a predição dos valores genéticos utilizados na avaliação genética de plantas perenes tem sido o BLUP individual, consistindo basicamente na predição de valores genéticos dos efeitos aleatórios do modelo estatístico associado às observações fenotípicas, ajustando-se os dados aos efeitos fixos e ao número desigual de informações nas parcelas por meio de metodologia de modelos mistos (Henderson e Quaas, 1976). A predição de valores genéticos usando o BLUP assume que os componentes de variância são conhecidos na população base não selecionada. Entretanto, na prática não se conhecem os verdadeiros valores dos componentes de variância, que são estimados com o procedimento da máxima verossimilhança restrita (REML), que interage nas equações de modelos mistos do procedimento BLUP, desenvolvido por Patterson

e Thompson (1971).

Este trabalho teve como objetivo a estimação dos valores genéticos de progênes de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade, na região do vale do Rio Doce, Minas Gerais pelo método REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não-viesada).

MATERIAL E MÉTODOS

Material experimental

Foram utilizados cinco testes de progênes de meio-irmãos *Eucalyptus urophylla* instalados individualmente por procedência, contendo 363 progênes assim denominados: TP-67 b1 (procedência Anhembi-SP; com 34 progênes); TP-68 b1 (procedência Alor-Indonésia, com 25 progênes); TP-69 b1 (procedência Mt. Lewotobi-Indonésia, com 60 progênes); TP-70 b1 (procedência Egon-Indonésia, com 118 progênes) e TP-71 b1 (procedência Wetar- Indonésia, com 126 progênes). Foram acrescidas testemunhas de sementes de lotes colhidos nas Áreas Produtoras de Sementes – APS da CENIBRA (Celulose Nipo Brasileira S.A.).

As progênes de *Eucalyptus urophylla* foram amostradas na Indonésia, na ilha de Flores com duas procedências, uma de Mt. Egon e outra de Mt. Lewotobi onde o clima é predominante tropical seco e com déficit hídrico crescente de Oeste para o Leste e altitudes variando de 370 a 1450 m (Vieira e Bucsan, 1979); em Alor com altitudes de 370 a 1200 metros em solos de origem vulcânica apresentando afloramentos e características de rochas basálticas; em Wetar em altitudes de 70 a 800 metros. A variação de altitude exerce efeitos marcantes na temperatura com as máximas variando de 27°C a 30°C, em altitudes de 400 metros, a 17°C a 21°C, a 1900 metros com 3 a 4 meses de déficit hídrico no ano (Eldridge *et al.*, 1993). As progênes do TP-67 b1 (procedência Anhembi, SP, com 34 progênes) têm origem na ilha de Flores. No Tabela 1, estão apresentadas a relação das procedências e progênes com as respectivas coordenadas geográficas, bem como o número de progênes por procedência (nf) e número médio de indivíduos por progênes (\bar{n}) de *Eucalyptus urophylla* avaliadas nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70, e TP-71, aos 58 meses de idade.

TABELA 1: Procedências, número de progênes por procedência (nf), número médio de indivíduos por progênes (\bar{n}) de *Eucalyptus urophylla* avaliadas nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70, e TP-71, aos 58 meses de idade.

TABLE 1: Origins, number of progenies per origin (nf), average number of individuals per progenie (\bar{n}) of *Eucalyptus urophylla*, evaluated in TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 and TP-71 field tests with 58 months-old.

Teste	Procedências	Lat.	Long.	Alt.(m)	(nf)	(\bar{n})
TP-67	Anhembi-SP	22°23'S	47°32'W	610	34	34
	1/Piritumas W. Alor – Ind.	08°19'S	124°31'E	355	14	23
TP-68	2/Piritumas W. Alor – Ind.	08°14'S	124°44'E	540	7	36
	3/Piritumas W. Alor – Ind.	08°17'S	124°40'E	1115	4	36
TP-69	1 / Mt Lewotobi –Flores – Ind.	08°19'S	122°45'E	398	25	32
	2/Mt Lewotobi –Flores – Ind.	08°32'S	122°48'E	375	35	35
TP-70	1/Mt Egon – Flores – Ind.	08°38'S	122°27'E	515	42	34
	2/Mt Egon – Flores – Ind.	08°32'S	122°27'E	525	2	33
	3/Mt Egon – Flores – Ind.	08°36'S	122°28'E	550	2	32
	4/Mt Egon – Flores – Ind.	08°38'S	122°27'E	450	72	35
TP-71	1/Lalikki Mine N Wetar – Ind.	07°42'S	126°21'E	220	9	36
	2/Nw Old Unak Wetar – Ind.	07°36'S	126°37'E	215	5	35
	3/Sw of Unak Ne Wetar – Ind.	07°39'S	126°37'E	215	37	35
	4/N of Carbubu Wetar – Ind.	07°56'S	125°53'E	175	8	33
	5/N of Telemar Sw Wetar-Ind.	07°54'S	125°58'E	180	6	35
	6/N of Arnau Wetar-Ind.	07°49'S	126°10'E	315	30	35
	7/N of Ilwaki Wetar-Ind.	07°52'S	126°26'E	515	27	36
	8/Nw of Ilwaki Wetar-Ind.	07°54'S	126°26'E	490	4	35

Os experimentos de *Eucalyptus urophylla* foram instalados em dezembro de 1993 em blocos ao acaso, com cinco repetições e parcelas lineares de oito plantas, no espaçamento de 3 x 2 m. O local se situa na latitude de 18°48'06"S, longitude de 42°58'22"W. O solo predominante é Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, horizonte A moderado, álico (90% saturação de alumínio) de textura argilosa (70% de argila), ácido com baixa saturação por bases, valores extremamente baixos de cálcio e magnésio (0,02 e 0,03 eqmg/100cc). O relevo é suavemente ondulado com declives em altitudes variando de 800 a 1000 metros. Os valores médios de precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar no período de 1985 a 2000 foi de 1153,6 e 58,3, e o valor médio de temperatura do ar obtido na Estação Meteorológica de Guanhães no período de 1990-2000 foi de 22,2C°.

Segundo a classificação climática de Köppen o clima é Aw, tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão e a vegetação associada é classificada como floresta temperada úmida.

Avaliação dos testes de progênies

Os testes de progênies foram avaliados aos 58 meses de idade. Por causa do grande número de dados, optou-se pela avaliação somente do diâmetro à altura do peito (DAP), visto essa estimativa apresentar alta correlação genética com altura e volume (Pires, 1996). A avaliação genética foi feita pela análise individual dos testes de progênies.

Análise de variância (ANOVA) e estimativas de parâmetros genéticos

Para análise, foi utilizado delineamento de blocos ao acaso. Os componentes de variâncias para a característica diâmetro à altura do peito foram estimados conforme Vencovsky e BARRIGA (1992), Xavier *et al.* (1993) e Pires (1996) e os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito em nível de plantas individuais e em nível de médias de progênies foram estimados desprezando-se a ocorrência de endogamia, conforme Vencovsky e BARRIGA (1992):

Análise REML/BLUP

Os testes de progênies foram analisados utilizando o procedimento REML/BLUP do modelo linear misto, em que os componentes de variação estão associados à análise univariada (DAP) por meio do Selegen – REML/BLUP – Seleção Genética Computadorizada (Resende, 2002b).

$$Y = Xb + Za + Wc + e$$

Em que: Y = vetor de dados; X = matriz de incidência para o efeito fixo de bloco; b = vetor dos efeitos de bloco, tomado como fixo; Z = matriz de incidência para o efeito aleatório de indivíduos; a = vetor dos efeitos genéticos aditivos tomados como aleatórios; W = matriz de incidência para o efeito de parcela; c = efeito de parcela tomado como aleatório; e = efeito dos erros aleatórios.

As pressuposições acerca da distribuição de y , a , c , e estruturas de médias e variâncias para cada vetor são dados por:

$$Y \sim N(Y, V); a \sim N(0, A\sigma_a^2); c \sim N(0, I\sigma_c^2); e \sim N(0, I\sigma_e^2)$$

$$\text{Cov}(a, c') = 0; \text{Cov}(a, e') = 0; \text{Cov}(c, e') = 0$$

As equações de modelo misto são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix},$$

Em que:

$$\lambda_1 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_a^2} = \frac{1 - h^2 - c^2}{h^2}:$$

$$\lambda_2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_c^2} = \frac{1-h^2-c^2}{c^2} :$$

Segundo Resende (2000), os estimadores iterativos dos componentes de variância por REML via algoritmo EM são dados por:

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y' y - \hat{b}' X' y - \hat{a}' Z' y - \hat{c}' W' y] / [N - r(x)]$$

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(A^{-1} C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' c + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s ,$$

Em que:

C^{22} e C^{33} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

Em que: C = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto; tr = operador traço matricial; r(x) = posto da matriz X; N, q, s = número total de dados, número de indivíduos por parcela e número de parcelas respectivamente.

As análises individuais foram utilizadas para prover informações de seleção que permitissem a transformação dos testes de progênes em populações de melhoramento (PSM-Pomar de Sementes por Mudanças), e a análise conjunta para seleção dos indivíduos a serem recombinados na população de produção (PSC-Pomar de Sementes Clonal).

O tamanho efetivo populacional foi obtido de acordo com Resende e Bertolucci (1995):

$$Ne = \frac{4N_f \bar{k}_f}{\bar{k}_f + 3 + (\sigma_{k_f}^2 / k_f^2)}$$

Em que: \bar{k}_f = número médio de indivíduos selecionados por progênie ($\bar{K}_f = \frac{N}{N_f}$);

$\sigma_{k_f}^2$ = variância do número de indivíduos selecionados por progênie; N_f = número de progênes selecionadas.

O ganho genético corrigido (G_{sc}) para a endogamia e seus respectivos intervalos de confiança foram calculados segundo Resende e Bertolucci (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativas de parâmetros genéticos

Médias e análise de variância

Os resultados das análises de variância para a característica diâmetro à altura do peito (DAP) avaliada em nível de plantas individuais aos 58 meses de idade são apresentados no Tabela 2. Nesta Tabela estão também apresentados as médias e os respectivos coeficientes de variação experimentais (CV_{exp}) para as progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71.

TABELA 2: Resultados das análises de variância para a característica diâmetro à altura do peito (DAP) em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade, nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71.

TABLE 2: Variance analyses of the diameter at breast height (DAP) characteristic in half-sib progenies of *Eucalyptus urophylla*, in TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 and TP-71 field tests with 58 months-old.

Fonte de Variação	TP-67		TP-68		TP-69		TP-70		TP-71	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	4	8,0933	4	50,7540	4	29,0816	4	10,9520	4	46,2250
Famílias	35	30,5807**	26	67,5526**	61	25,8573**	120	26,5634**	128	60,7048**
Entre parcelas	140	14,3755	104	18,7456	244	13,0721	480	13,8322	512	14,8509
Dentro da parcela	1260	6,3980	945	6,6941	2170	7,6366	4235	6,9641	4515	5,6642
Média (DAP)		12,02		12,08		12,31		12,13		11,25
CV _{exp.} (%)		8,35		10,14		6,69		7,68		9,65

Em que: GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio; CV_{exp.}(%) = coeficiente de variação experimental; ** = Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

As análises de variância revelaram a existência de diferenças significativas entre progênies, para a característica DAP, pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade para todos os testes. Desta maneira, pode-se concluir que existe variabilidade genética entre progênies e que há possibilidades de obtenção de ganhos genéticos pela seleção nestas populações.

As médias de DAP estão dentro dos valores normais para a espécie, nesta idade, principalmente considerando que os testes não passaram por seleção e os coeficientes de variação experimentais estão com valores similares aos encontrados para DAP, para *Eucalyptus* (Garcia, 1989).

Componentes de variância

Os componentes de variância obtidos por meio dos procedimentos REML (máxima verossimilhança restrita) e E(QM) (esperança matemática dos quadrados médios) para DAP estão apresentados no Tabela 3.

TABELA 3: Variância genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$), variância ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$), fenotípica entre plantas dentro de progênies ($\hat{\sigma}_d^2$) e variância fenotípica entre plantas no bloco ($\hat{\sigma}_F^2$) em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade, nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71.

TABLE 3: Additive genetic variance ($\hat{\sigma}_a^2$), environmental variance between plots ($\hat{\sigma}_c^2$), phenotypic variance between plants within progenies ($\hat{\sigma}_d^2$) and phenotypic variance between plants within blocks ($\hat{\sigma}_F^2$) of half-sibs progenies of *Eucalyptus urophylla*, in TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 and TP-71 field tests with 58 months-old.

Var.	TP-67		TP-68		TP-69		TP-70		TP-71	
	REML	E(QM)	REML	E(QM)	REML	E(QM)	REML	E(QM)	REML	E(QM)
$\hat{\sigma}_a^2$	1,9371	1,6205	4,8560	4,8807	1,4081	1,2785	1,8935	1,2785	4,5142	4,5853
$\hat{\sigma}_c^2$	0,3408	0,9972	0,3028	1,5064	0,1251	0,6794	0,1042	0,8585	0,1195	1,1483
$\hat{\sigma}_d^2$	5,5790	6,3980	5,1470	6,6941	8,2051	7,6367	6,4522	6,6942	2,4344	5,6642
$\hat{\sigma}_F^2$	7,8570	7,7785	10,3058	9,5689	9,7383	8,6680	8,4499	8,1380	7,0980	7,9893

Em que: REML = máxima verossimilhança restrita; E(QM) = esperança de quadrados médios.

As variâncias genéticas aditivas apresentaram valores expressivos comparadas com as variâncias fenotípicas entre plantas no bloco nos TP-68 e TP-71, mostrando possibilidade de ganhos de seleção maiores do que nas outras populações analisadas. A existência de variância genética aditiva constitui um indicativo da facilidade de identificação de genótipos superiores, os quais proporcionarão ganhos com seleção (Cruz e

Regazzi, 1994). Para facilitar a visualização, o parâmetro mais indicado para comparar a variabilidade genética expressa na característica pelo coeficiente de variação genética aditiva (CV_a). As variâncias fenotípicas entre plantas dentro do bloco apresentaram valores relativamente próximos em todas as populações analisadas, no entanto, valores discrepantes foram encontrados entre as variâncias ambientais entre parcelas estimadas pelos dois métodos. Esse fato pode ser em consequência da natureza desbalanceada do número de plantas por parcela causada pela sobrevivência diferenciada de plantas na parcela.

Nos dois procedimentos, (REML) máxima verossimilhança restrita E(QM), (quadrados mínimos) os valores das variâncias genética aditivas e das variâncias fenotípicas foram similares, evidenciando a possibilidade de uso de ambos na predição de valores genéticos dos indivíduos candidatos à seleção. Entretanto, as estimativas da variância ambiental entre parcelas apresentaram valores menores com o uso do procedimento REML.

Estimativas dos coeficientes de variação

Os coeficientes de variação genética aditiva sugerem a existência de variabilidade genética, quanto maior esse valor, maior a facilidade de encontrar os indivíduos superiores que irão proporcionar ganhos com a seleção. Assim, as populações originadas de Alor (TP-68) e de Wetar (TP-71) são as mais indicadas para a seleção considerando que os valores dos coeficientes de variação genética aditiva, para diâmetro à altura do peito (DAP), foram elevados, da ordem de 18 e 19 %. Os coeficientes de variação fenotípicas obtidos para diâmetro apresentaram valores elevados para os testes TP-67, TP-69 e TP-70, evidenciando grande influência do ambiente.

Os dois procedimentos utilizados REML e E(QM) apresentaram valores similares nas estimativas dos coeficientes de variação nas populações, exceto para os coeficientes de variação ambiental entre parcelas, em que as variâncias foram discrepantes, provavelmente em função do desbalanceamento dos dados resultantes da sobrevivência diferenciada de plantas na parcela.

Estimativas dos coeficientes de herdabilidade

Os resultados das estimativas dos coeficientes de herdabilidade individual no sentido restrito, em nível de média de progênes, do coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas e acurácia para a característica diâmetro à altura do peito (DAP), em progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade, nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71 estão apresentados na Tabela 7.

Conforme o Tabela 4, os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas, estimados pelo método dos quadrados mínimos [E(QM)] comparativamente com o método REML ficaram em valores muito próximos. O mesmo fato ocorre para a herdabilidade em nível de médias de progênes, em que o procedimento REML proporcionou valores superiores em todos os testes, sugerindo que esse método tende a evidenciar os efeitos genéticos entre progênes.

Com base nos valores de herdabilidade no sentido restrito apresentados, as condições favoráveis para a seleção dos indivíduos para a característica diâmetro à altura do peito (DAP) foram maiores no TP-71 procedente de Wetar seguido do TP-68 de Alor. Os outros testes, TP-67, TP-69 e TP-70, apresentaram valores de herdabilidade individual no sentido restrito, considerados baixos ($h_a^2 < 0,30$). Valor de herdabilidade da ordem de 0,17 foi encontrado por Freitas *et al.* (1997) para diâmetro à altura do peito (DAP), em progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 5 anos de idade.

As menores herdabilidades individuais no sentido restrito e de média das progênes foram obtidas no TP-69, procedência de Mt. Lewotobi, seguido do TP-67. Os valores das herdabilidades em nível de média de progênes evidenciam boas possibilidades para seleção, especialmente, as obtidas pelo método REML.

O parâmetro c_{parc}^2 (coeficiente de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas) quantifica a variabilidade dentro dos blocos. Um coeficiente alto significa alta variabilidade ambiental entre parcelas, e ao contrário, um coeficiente baixo, baixa variabilidade. Todas as populações analisadas apresentaram baixa variabilidade ambiental variando de 1,2 a 4,3 % nos TP-69 e TP-70 e TP-67 respectivamente. Bons experimentos em plantas perenes apresentam valores desse coeficiente em torno 10% de toda variação fenotípica dentro dos blocos proporcionada pela variação ambiental entre parcelas (Resende, 2002a).

As magnitudes dos coeficientes de herdabilidade conduziram a um valor de acurácia para seleção de progênies variando de 0,72 a 0,96, o que indica uma boa precisão dos resultados conforme Resende (2002a).

TABELA 4: Estimativas dos coeficientes de herdabilidade individual no sentido restrito (h_a^2) e em nível de média de famílias (h_{mp}^2), coeficiente de determinação dos efeitos de parcelas (c_{parc}^2) e da acurácia (ac_{prog}) para a característica diâmetro à altura do peito (DAP), em progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade, nos testes TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 e TP-71.

TABLE 4: Estimates of restrict Individual heritability coefficients (h_a^2) and of family averae (h_{mp}^2), determination coefficient of the plots effects (c_{parc}^2) and of accuracy (ac_{prog}) for the diameter at breast height (DAP) characteristic in half-sib progenies of *Eucalyptus urophylla*, in TP-67, TP-68, TP-69, TP-70 and TP-71 field tests with 58 months-old.

Parâmetros		TP-67	TP-68	TP-69	TP-70	TP-71
h_a^2	REML	0,2465	0,4712	0,1446	0,2241	0,6402
	E(QM)	0,2083	0,5101	0,1750	0,1571	0,5739
h_{mp}^2	REML	0,6999	0,8651	0,6047	0,7221	0,9305
	E(QM)	0,5299	0,7225	0,4945	0,4793	0,7554
C_{parc}^2	REML	0,0434	0,0294	0,0123	0,0123	0,0168
ac_{prog}	REML	0,8366	0,9301	0,7776	0,7221	0,9646

Em que: REML = máxima verossimilhança restrita; E(QM) = esperança de quadrados médios.

Ganho genético

Por causa da grande quantidade de dados, optou-se por conduzir a seleção apenas para a característica diâmetro à altura do peito (DAP), que apresenta alta correlação genética com a altura total e volume (Pires, 1996). Além disso, as avaliações de DAP são mais confiáveis por causa da maior precisão na tomada dessa característica.

População de melhoramento

As populações de melhoramento, Pomar de Sementes por Mudanças (PSM), são resultantes da seleção e desbaste de cada teste de progênies. A seleção dentro do bloco tem como objetivo deixar uma distribuição mais equilibrada de espaços, permitindo maior entrada de luz, favorecendo o florescimento mais uniforme, com maior participação dos indivíduos no fluxo gênico. O maior número de indivíduos selecionados foi do teste TP-71 origem de Wetar, que apresentou valores altos de estimativas de herdabilidade em nível de média de famílias, evidenciando possibilidades de ganho com a seleção de famílias para essa característica. Os ganhos genéticos por seleção dos indivíduos portadores dos maiores valores genéticos, obtidos para a população de melhoramento variaram de 9,5% a 25,3% para a característica DAP.

O número de progênies selecionadas nos testes TP-67 e TP-68 foram abaixo de cinquenta, número recomendado por Resende *et al.* (1990) para início de um programa de melhoramento. O tamanho efetivo populacional recomendado por esses autores, está na ordem de 30 indivíduos deixados para a recombinação. Portanto, na maximização do ganho, deve-se levar em conta o número de indivíduos a serem deixados para a manutenção do tamanho efetivo que propicie melhoramento ao longo das gerações evitando a perda de alelos favoráveis. Dessa forma, os ganhos genéticos na população de melhoramento de *Eucalyptus urophylla* foram maximizados pela manutenção de números efetivos na ordem de 58 a 224, com o cuidado de deixar somente um indivíduo da família selecionada no bloco, evitando a recombinação entre meio-irmãos na parcela.

População de produção

No estabelecimento da população de produção (PCS – pomar clonal de sementes), foram considerados os resultados da análise conjunta dos testes visando à maximização do ganho genético após a recombinação dos indivíduos portadores dos maiores valores genéticos aditivos para a característica diâmetro à altura do peito (DAP).

No Tabela 5, estão apresentados o ganho genético, valor genético predito (VG) para diâmetro à altura do peito (DAP), tamanho efetivo (Ne) e acurácia ($r_{\hat{a}a}$) referentes ao estabelecimento da população de produção (PCS) de *Eucalyptus urophylla*, considerando diferentes números de indivíduos selecionados. Quanto menor o número de indivíduos selecionados, maior é o ganho genético. Entretanto, ao determinar o número de indivíduos para recombinação na população de produção, em que se procura a maximização do ganho genético, deve-se levar em consideração o tamanho efetivo populacional adequado para que haja segurança na seleção, considerando a endogamia na geração de plantio. Resende e Bertolucci, (1995), recomendam um limite seletivo observando a variância do ganho, que indica o grau de confiabilidade da seleção. Nas expressões utilizadas por Resende (2002a), verifica-se que a variância do ganho se reduz à medida que aumenta o número de indivíduos selecionados, assim, deve-se buscar um número ótimo de indivíduos que maximize o limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético para a endogamia potencial. Para se encontrar o número desejado de indivíduos que participarão na recombinação, esse autor sugere a construção de intervalos de confiança para o ganho genético corrigido para a endogamia na geração de plantio.

TABELA 5: Ganho genético (GG), valor genético predito (VG) para diâmetro à altura do peito (DAP), tamanho efetivo (Ne), e acurácia ($r_{\hat{a}a}$) referentes ao estabelecimento da população de produção (PCS) de *Eucalyptus urophylla*, considerando diferentes números de indivíduos selecionados.

TABLE 5: Genetic gain (GG), predict genetic value (VG) for the diameter at breast height (DAP) characteristic, effective size, (Ne), and accuracy ($r_{\hat{a}a}$) of the production population (PCS) of *Eucalyptus urophylla*, considering different numbers of selected individuals.

Indivíduos selecionados	DAP (cm)			Ne	$r_{\hat{a}a}$
	GG	GG (%)	VG Predito		
03	3,07	25,77	14,77	3,0	0,60
10	2,97	24,96	14,71	9,1	0,60
20	2,93	24,56	14,63	19,1	0,60
30	2,85	23,90	14,55	25,1	0,60
50	2,59	21,70	14,35	39,4	0,60
100	2,45	20,60	14,11	70,0	0,60

Embora o ganho genético seja menor, a escolha do número de indivíduos observando os limites inferiores dos intervalos de confiança resultam em maior segurança do processo seletivo. A Tabela 6 caracteriza os 25 melhores indivíduos selecionados quanto a sua família, o ganho genético da seleção, o tamanho efetivo populacional, o coeficiente de endogamia, o ganho genético corrigido, o ganho em porcentagem e o intervalo de confiança do ganho genético corrigido para a endogamia. No presente trabalho, o número adequado de indivíduos selecionados para a recombinação é de 21, em que o limite inferior do intervalo de confiança foi de 15,20 % e ganho de 21,22 % (Tabela 6). Com a maximização do limite inferior do intervalo de confiança, recomenda-se formar o pomar com os 21 melhores indivíduos, portadores dos maiores valores genéticos preditos para a produção de sementes *Eucalyptus urophylla*.

TABELA 6: Número de famílias selecionadas, ganho genético da seleção (G_{selec}), tamanho efetivo (Ne), o coeficiente de endogamia (F), o ganho genético corrigido ($G_{corrig.}$), o ganho em % (G_{sc}) e o intervalo de confiança (IC) do ganho genético corrigido para a endogamia, associados aos 25 melhores indivíduos selecionados nos testes de *Eucalyptus urophylla*, aos 58 meses de idade.

TABLE 6: Number of selected families, genetic gain (G_{selec}), effective size, (Ne), endogamic coefficient (F), new genetic gain ($G_{corrig.}$), percentage gain (G_{sc}), confidence interval (IC) of the new genetic gain for endogamic effects considering the best 25 selected individuals in the *Eucalyptus urophylla*, field tests of 58 months-old.

Ord.	Fam.	G_{selec}	Ne	$F = 1/2Ne$	$G_{corrig.}$	G_{sc} (%)	IC(%)
1	64	3,14	1	0,500	1,57	13,33	-11,69 – 38,8
2	158	3,08	1,6	0,313	2,12	18,00	-10,07 – 37,47
3	91	2,99	2,4	0,208	2,37	20,12	08,40 – 35,95
4	343	2,86	3,2	0,156	2,41	20,46	08,51 – 34,19
5	130	2,85	4,0	0,125	2,49	21,14	09,95 – 33,40
6	98	2,83	4,8	0,104	2,54	21,56	10,02 – 32,66
7	277	2,77	5,6	0,089	2,52	21,39	10,68 – 31,71
8	268	2,77	6,4	0,078	2,55	21,65	11,62 – 31,30
9	277	2,76	8,2	0,061	2,59	21,99	13,09 – 30,47
10	54	2,72	9,1	0,055	2,57	21,82	13,35 – 29,85
11	60	2,73	10,1	0,050	2,59	21,99	13,97 – 29,64
12	277	2,71	10,4	0,048	2,58	21,90	13,96 – 29,39
13	275	2,69	11,3	0,044	2,57	21,82	14,20 – 29,01
14	159	2,64	12,2	0,041	2,53	21,48	14,15 – 28,40
15	274	2,64	13,1	0,038	2,54	21,56	14,47 – 28,21
16	263	2,62	14,1	0,036	2,53	21,48	14,61 – 27,86
17	5	2,61	15,0	0,033	2,52	21,39	14,78 – 27,63
18	284	2,61	16,0	0,031	2,53	21,48	15,02 – 27,47
19	291	2,59	16,9	0,030	2,51	21,31	15,07 – 27,17
20	284	2,58	17,6	0,028	2,51	21,31	15,13 – 27,00
21	5	2,57	18,3	0,027	2,50	21,22	15,20 – 26,82
22	277	2,56	18,6	0,027	2,49	21,14	15,16 – 26,70
23	262	2,54	19,4	0,026	2,47	20,97	15,14 – 26,44
24	181	2,52	20,3	0,025	2,46	20,88	15,13 – 26,18
25	159	2,52	21,1	0,002	2,51	21,31	15,12 – 26,09

CONCLUSÕES

A análise de variância e teste de F revelaram a existência de variabilidade genética entre e dentro de progênies nas cinco populações de *Eucalyptus urophylla* evidenciando possibilidade de ganho genético com seleção.

Os coeficientes de herdabilidade em nível de plantas, estimados pelo procedimento REML, foram semelhantes aos obtidos pelo método dos quadrados mínimos E (EQ), diferentemente dos coeficientes de herdabilidade em nível de médias de progênies, em que o procedimento REML proporcionou valores superiores.

O procedimento REML se mostrou adequado para estimativas de parâmetros genéticos em *Eucalyptus urophylla*, com alta confiabilidade conforme evidenciado pela acurácia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, M.A. M.; VIEIRA, F.S.; COUTO, H. T. Z.; VEIGA, R.A.A. Variação da densidade básica da madeira entre procedências de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., Olinda, 1986. Anais... São Paulo : SBS, 1986. p.110-13.

- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 2003. 585p. Vol.2
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford : Clarendon Press, 1993. 288p.
- FREITAS, M.L. M.; MORAES, M.L.T. de.; SANTOS, P.E.T. dos.; VALÉRIO FILHO, W.V. Variação genética em progênes de *Eucalyptus urophylla* S.T.BLAKE na região de Selvíria-MS. In: INTERNATIONAL IUFRO CONFERENCE ON *EUCALYPTUS* GENETICS AND SILVICULTURE, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. Vol.2. p. 403-7.
- FONSECA, A .G.; BARBOSA, M.; LOBATO, R. C. Ensaio de procedências de *Eucalyptus urophylla* S.T.BLAKE. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., Olinda, 1986. **Anais...** São Paulo: SBS, 1986. p.14-17.
- GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 11p. (Circular Técnica, 171).
- HENDERSON, C.R.; QUAAS, R.L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, v.43, p.1188-1197, 1976.
- MORA, A. L.; FERREIRA, M. Estudo do florestamento em *Eucalyptus urophylla*. **Silvicultura**, São Paulo, n.14, p. 50-53, 1978.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo : Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, p. 545-554, 1971.
- PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. The evaluation of genetic variability in four generations of *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake by RAPD marker. **Scientia Forestalis**, n. 60, p-119-133, 2001.
- PIRES, I. E. **Eficiência da seleção combinada no melhoramento genético de *Eucalyptus spp*** . 1996. 116f . Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- PRYOR, L. D.; JOHNSON, L.A . S. **A classification of the *Eucalyptus***. Canberra: Australian National University, 1971. 101p.
- RESENDE, M. D.V. de; ARAÚJO, A . J.; SAMPAIO, P. de T. B.; WIECHETECK, M. S.S. **Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variâncias de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Colombo : EMBRAPA Florestas, 1990. 18p. (Boletim de Pesquisa Florestal, n. 21)
- RESENDE, M. D.V.de.; BERTOLUCCI, F. L. G. Maximization of genetic gain with restriction on effective population size and inbreeding in *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 167-170.
- RESENDE, M. D.V. de. **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 101p. (Embrapa Florestas. Documentos, 47).
- RESENDE, M. D.V. de. SELEGEN-REML/BLUP. **Seleção genética computadorizada: manual do usuário**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 2002a. 67p.
- RESENDE, M. D.V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília : EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002b. 975p.
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, C.H.; GOMES, F. S. Comportamento de procedências/progênes de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na região do Jari. CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. ; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba . **Anais...** Curitiba : SBS, 1993. p. 104-6.
- VENCOVSKY, R. BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 406p.
- VIEIRA, S.F.; BUCSAN, B. Ocorrências naturais do *Eucalyptus urophylla* S.T. Blacke. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 1-8, 1979.
- XAVIER, A . ; CRUZ, C.D. ; BORGES, R.C.G. ; PIRES, I.E. Influência da correlação intraclasse nas estimativas da variância fenotípica dentro de famílias e da variância ambiental. **Revista Árvore**, v. 17, n. 1, p. 91-99, 1993.