

**SELEÇÃO DE CRUZAMENTOS, RECOMBINAÇÃO DESBALANCEADA
E AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO MELHORAMENTO
GENÉTICO DE *Eucalyptus*
BREEDING SELECTION, UNBALANCED RECOMBINATION AND
EFFICIENCY INCREASES FROM THE GENETIC
IMPROVEMENT OF *Eucalyptus***

Resende, M.D.V. de* e Resende, R.M.S.**

*EMBRAPA/CNPQ.

**Departamento de Genética/UFPR.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos da seleção de cruzamentos e da recombinação desbalanceada dos indivíduos selecionados, nas populações de melhoramento e de produção de *Eucalyptus grandis*. Verificou-se que estas técnicas são vantajosas, pois conduziram a aumentos de 5% no ganho genético ou 10% no tamanho efetivo da população de produção e 3% no ganho genético da população de melhoramento.

ABSTRACT

The effects of the mate selection and unbalanced recombination in the breeding and production populations of *Eucalyptus grandis* was evaluated. These techniques conducted to gains of 5% in the genetic progress or 10% in the effective number of the production population and 3% in the genetic progress of the breeding population.

1. INTRODUÇÃO

A estimação de ganhos genéticos com a seleção intrapopulacional baseia-se, de maneira geral, na recombinação equitativa dos indivíduos selecionados, ou seja, em geral todos os indivíduos selecionados contribuem com a mesma proporção de gametas para a geração da população melhorada. Entretanto, em espécies perenes, existe a possibilidade de contribuição desigual de parentais e a eficiência da seleção poderá ser aumentada através da contribuição genética em maior proporção dos indivíduos com os maiores valores genéticos (RESENDE, 1994). Esta é uma modalidade de cruzamentos preferenciais positivos e a adoção desta modalidade de cruzamentos para

gerar a população melhorada implica em um procedimento de "seleção de cruzamentos". A seleção de cruzamentos vem sendo empregada com sucesso no melhoramento animal (ALLAIRE, 1980; TORO & NIETO, 1984; TORO et al., 1991; TORO & SILIO, 1992). Uma outra aplicação da contribuição desigual dos indivíduos selecionados refere-se ao aumento do tamanho efetivo populacional para uma condição de mesmo ganho genético, através da utilização, em proporções variadas, de um maior número de indivíduos selecionados, porém mantendo-se a mesma intensidade de seleção (TORO & NIETO, 1984; NIETO et al., 1986; LOPEZ-FANJUL, 1989). Na população de produção, a utilização em proporções desiguais dos indivíduos selecionados apresenta relevância tanto para os plantios via sementes (LINDGREN & MATHESON (1986) quanto para os plantios clonais (LINDGREN et al., 1989).

Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivos estudar a seleção de cruzamentos e a recombinação desbalanceada e seus impactos sobre o ganho genético e o tamanho efetivo populacional em populações de produção e de melhoramento de *Eucalyptus grandis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Considerou-se o caráter volume de madeira como o objetivo e critério de seleção, em um teste de 33 progênies de polinização aberta (consideradas como de meios-irmãos) de *Eucalyptus grandis*, instalado no delineamento experimental de blocos casualizados com 6 repetições e 6 plantas por parcela (RESENDE & BERTOLUCCI, 1995).

Os valores genéticos (A) dos indivíduos foram estimados empregando-se o método índice multi-efeitos no experimento e a média (C_{ij}) dos cruzamentos entre os indivíduos i e j foram preditas através da expressão

$$\hat{C}_{ij} = (\hat{A}_i + \hat{A}_j) / 2$$

Os valores de C_{ij} foram ordenados para efeito de seleção de cruzamentos, excluindo-se de todo o processo as autofecundações e os cruzamentos entre irmãos.

Foram empregados os seguintes estimadores e conceitos de tamanho efetivo populacional, com base em ROBERTSON (1961); RESENDE & BERTOLUCCI (1995); WEI (1996) e WEI & LINDGREN (1996).

N - Número físico de indivíduos selecionados e utilizados, desconsiderando a proporção de utilização.

$$N_e = (4 N_f \bar{n}) / (\sigma_{n/\bar{n}}^2 + \bar{n} + 3)$$

Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, desconsiderando a proporção de utilização.

N_f - Número físico de famílias selecionadas e utilizadas, desconsiderando a proporção de utilização.

$$N_{ef} = 1 / (\sum w_i^2)$$

Número efetivo de famílias utilizadas, considerando-se a proporção

$w_i = C_i / 2C$ em que a família i é utilizada, em que C_i é o número de cruzamentos em que indivíduos da família i são utilizados e C é o número total de cruzamentos.

$N_{e1} = 1 / (\sum p_j^2)$ - Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, considerando-se a proporção p_j de utilização do indivíduo j, mas desconsiderando-se a estrutura de

famílias. $p_j = \frac{n_j}{2C}$, onde n_j é o

número de cruzamentos em que participa o indivíduo j.

$N_{e2} = N_e \cdot N_{e1} / N$ - Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, considerando-se a proporção de utilização dos indivíduos e a estrutura de famílias.

$$N_{e3} = 1 / 2F; F = \sum F_i w_i; F_i = (1/2N)[(1-r) + n_i r]$$

Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, desconsiderando-se a proporção de utilização dos indivíduos, mas considerando-se a estrutura de famílias e a proporção de utilização das famílias.

$N_{e4} = N_{e3} \cdot N_{ef} / N_f$ - Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, considerando-se simultaneamente N_{e3} e o número efetivo de famílias utilizadas.

$N_{e5} = (4N_{ef} - N_{e1}/N_{ef}) / (3 + N_{e1}/N_{e0}) = (4N_{ef} - N_{e1}) / (3 + N_{ef}/N_{e1})$ - Número efetivo de indivíduos selecionados e utilizados, considerando-se a proporção de utilização dos indivíduos (N_{e1}) e a variância (de n) e proporção de utilização das famílias.

Define-se ainda as seguintes quantidades:

n_i - número de indivíduos selecionados na família i.

\bar{n} - número médio de indivíduos selecionados por família.

σ_n^2 - variância do número de indivíduos selecionados por família.

r - correlação genética intraclasse = 0,25 para progênies de meios-irmãos.

Os estimadores N_{e2} e N_{e5} são, teoricamente, os mais adequados, embora os demais também sejam informativos.

Na população de produção, a seleção de cruzamentos objetivou:

- (i) aumentar o ganho genético para um tamanho efetivo fixo igual a 10.
- (ii) aumentar o tamanho efetivo para um ganho genético máximo fixo (obtido mantendo-se o tamanho efetivo igual a 10 com recombinação balanceada dos indivíduos = procedimento convencional).

Na população de melhoramento, a seleção de cruzamentos objetivou aumentar o ganho genético para um tamanho efetivo restrito a 50.

Todas as análises foram realizadas empregando-se o software SELEGEN (RESENDE *et al.*, 1994).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

População de Produção

Os resultados referentes a população de produção encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

Verificou-se que a contribuição desigual de gametas dos indivíduos selecionados foi vantajosa nas duas situações, conduzindo a um aumento de 5% no ganho genético para a condição de tamanho efetivo fixo e conduzindo a um aumento de 10% no tamanho efetivo para a condição de ganho genético fixo (Tabela 1). Ganho similar em termos de tamanho efetivo foi relatado por TORO & NIETO (1984).

Esses ganhos, embora não sendo de grandes magnitudes, são relevantes, pois não acarretam custos adicionais à seleção. Do ponto de vista prático, este tipo de abordagem conduziu às proporções (em porcentagem) de utilização conforme apresentado na Tabela 2.

Dos 30 indivíduos selecionados inicialmente, somente os 25 primeiros foram utilizados, ou seja, a maximização do ganho para a condição de N_e restrito a 10, ocorreu

com a utilização, em proporções variadas, dos 25 melhores indivíduos. Logicamente, os melhores indivíduos foram utilizados em maiores proporções que os demais, mas isto não conduziu à uma redução no tamanho efetivo devido a utilização de um número (25) de indivíduos maior do que o número inicial (11).

A nível operacional, as diferentes proporções apresentadas na Tabela 2, representam dificuldades para a utilização dos três primeiros indivíduos, os quais demandam as quantidades de 17, 14 e 11 rametes respectivamente, em um pomar de tamanho 100. Assim, aperfeiçoamentos na metodologia são necessários, indicando-se a restrição na amplitude de variação da proporção de utilização como uma alternativa viável. Por outro lado, se a população de produção for clonal (seleção baseada em valores genotípicos), quaisquer proporções desiguais encontradas para utilização dos clones (para um tamanho efetivo fixo) são viáveis na

TABELA 1. Ganhos genéticos e tamanhos efetivos populacionais associados a diferentes modalidades de recombinação (quanto às contribuições dos indivíduos selecionados) e restrições.

Modalidade	Ganho Genético (m^3)	Eficiência do Ganho	Tamanho Efetivo (N_{e2})	Eficiência do N_{e2}
Contribuição balanceada	0,079	-	10	-
Contribuição desbalanceada, N_e fixo	0,083	5%	10	0%
Contribuição desbalanceada, ganho fixo	0,079	0%	11	10%

TABELA 2. Proporção (em porcentagem) de utilização dos indivíduos selecionados, para a modalidade contribuição desbalanceada com tamanho efetivo fixo igual a 10 e ganho genético 5% superior.

$P_1 - 17$	$P_{11} - 3$	$P_{21} - 1$
$P_2 - 14$	$P_{12} - 2$	$P_{22} - 1$
$P_3 - 11$	$P_{13} - 2$	$P_{23} - 1$
$P_4 - 7$	$P_{14} - 2$	$P_{24} - 1$
$P_5 - 6$	$P_{15} - 2$	$P_{25} - 1$
$P_6 - 5$	$P_{16} - 2$	$P_{26} - 0$
$P_7 - 4$	$P_{17} - 2$	$P_{27} - 0$
$P_8 - 4$	$P_{18} - 2$	$P_{28} - 0$
$P_9 - 4$	$P_{19} - 2$	$P_{29} - 0$
$P_{10} - 3$	$P_{20} - 1$	$P_{30} - 0$

TABELA 3. Estimativas associadas aos diferentes conceitos de tamanho populacional, para duas modalidades de recombinação.

Parâmetros*	Contribuição balanceada	Contribuição desbalanceada, N_e fixo igual a 10
N	11	30
N_e	10	22,35
N_f	9	17
N_{ef}	7,12	8,95
N_{e1}	11	12,74
N_{e2}	10	10
N_{e3}	9,68	23,27
N_{e4}	7,91	12,25
N_{e5}	9,68	11,46

* Simbologia conforme descrito no item Material e Métodos.

TABELA 4. Ganhos genéticos associados à seleção de cruzamentos e método tradicional (contribuição balanceada) para a população de melhoramento.

Modalidade	Ganho Genético (m^3)	Eficiência do Ganho Genético	Tamanho efetivo (N_{e2})	Número de indivíduos utilizados	N_{ef}
Contribuição balanceada	0,0450	-	50	91	21,73
Seleção de cruzamentos, N_e fixo	0,0464	3%	50	150	22,63

prática, conduzindo à manutenção do nível de diversidade genética desejável no plantio, conforme conceito de LINDGREN et al. (1989).

Quanto aos estimadores e conceitos associados ao tamanho efetivo populacional (Tabela 3), verifica-se que N_{e1} , N_{e2} , N_{e4} e N_{e5} , apresentam valores similares, para a modalidade contribuição desbalanceada. Entretanto N_{e2} e N_{e5} , além de teoricamente mais adequados, são também praticamente mais adequados, pois são mais conservadores, apresentando estimativas mais baixas do tamanho efetivo. Assim, podem ser assumidos como adequados para quantificar o N_e em situações de contribuição desbalanceada (que reduz o N_e inicial) dos indivíduos selecionados. Verifica-se (Tabela 3) que o tamanho efetivo reduziu de 22,35 para 10, comparando-se a contribuição balanceada com a contribuição desbalanceada conforme as proporções apresentadas na Tabela 2.

Verifica-se ainda que com a contribuição balanceada vários dos estimadores conduzem a valores idênticos. Outra vantagem da contribuição desbalanceada, refere-se ao maior (8,95) número efetivo de famílias utilizadas em relação à contribuição balanceada (7,12) (Tabela 3).

População de Melhoramento

Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes à seleção de cruzamentos na população de melhoramento.

A seleção de cruzamentos na população de melhoramento conduziu a um ganho genético 3% superior àquele observado com a recombinação balanceada, para um mesmo tamanho efetivo. Para obtenção do mesmo tamanho efetivo, foram utilizados 150 indivíduos contra 91 utilizados na recombinação balanceada. A seleção de cruzamentos conduziu também a um maior (22,63) número efetivo de famílias utilizadas do que a recombinação balanceada (21,73).

4. CONCLUSÕES

- A contribuição desigual de gametas dos indivíduos selecionados na população de produção mostrou-se vantajosa em relação à contribuição eqüitativa, conduzindo a um aumento de 5% no ganho genético ou a um aumento de 10% no tamanho efetivo.
- Na população de melhoramento, a seleção de cruzamentos conduziu a um aumento de 5% no ganho genético em relação à recombinação balanceada.
- Os estimadores do tamanho efetivo apresentados mostraram-se adequados em quantificar a redução no N_e devido à contribuição desbalanceada dos indivíduos selecionados.
- A contribuição desigual de gametas dos indivíduos selecionados conduziu a um maior número efetivo de famílias utilizadas tanto na população de produção quanto na população de melhoramento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAIRE, F.R. Mate selection by selection index theory. *Theoretical and Applied Genetics*. v.57, p.267-72, 1980.
- LINDGREN, D.; MATHESON, A.C. An algorithm for increasing the genetic quality of seed from seed orchards by using the better clones in higher proportions. *Silvae Genetica*. v.35, p.173-177, 1986.
- LINDGREN, D.; LIBBY, W.J.; ; BONDESSON, L. Deployment to plantations and proportions of clones with special emphasis on maximising gain at a constant diversity, *Theoretical and Applied Genetics*, v.77, p.825-831, 1989.
- LOPEZ-FANJUL, C. Tests of theory by selection experiments. In: HILL, W.G.; MACKAY, T.F.C. *Evolution and Animal Breeding*. CAB International, Wallingford, 1989. p.129-133.
- NIETO, B.; SALGADO, C.; TORO, M.A. Optimization of artificial selection response. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v.103, p.199-204, 1986.
- RESENDE, M.D.V. de. Seleção precoce no melhoramento florestal. In: *Workshop SIF/UFV: Métodos de Seleção*. SIF/UFV, Belo Horizonte, 1994. p.58-75.
- RESENDE, M.D.V. de; BERTOLUCCI, F.L.G. 1995. 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". Hobart-Austrália. 1995. p.167-170.
- RESENDE, M.D.V. de; OLIVEIRA, E.B. de; MELINSKI, L.C.; GOULART, F.S.; OAIDA, G.R. SELEGEN - Seleção Genética Computadorizada - Manual do Usuário. EMBRAPA/CNPFFlorestas, Curitiba, PR, 31p. 1994.
- ROBERTSON, A. Inbreeding in artificial selection programmes. *Genetical Research*, v.2, p.189-194, 1961.
- TORO, M.A.; NIETO, B.M. A simple method for increasing the response to artificial selection. *Genetical Research*, v.44, p.347-349, 1984.
- TORO, M.A.; SILIO, L. An alternative to restricted BLUP based on mate selection. *Livestock Production Science*, v.32, p.181-187, 1992.
- TORO, M.A.; SILIO, L.; PEREZ-ENCISO, M. A note on the use of mate selection in closed MOET breeding schemes. *Animal Production*, v.53, p.403-406, 1991.
- WEI, R.P. Loss of genetic diversity following selection from populations with a family structure. *Silvae Genetica*, v.45, n.2-3, p.153-159, 1996.
- WEI, R.P.; LINDGREN, D. Effective family number following selection with restrictions. *Biometrics*, v.52, p.198-208, 1996.