

## ANÁLISE GENÉTICA DO CARÁTER SOBREVIVÊNCIA EM ERVA-MATE E IMPLICAÇÕES NA SELEÇÃO PARA PRODUTIVIDADE

*Rosangela Maria Simeão<sup>1</sup>  
José Sebastião Cunha Fernandes<sup>2</sup>  
Marcos Deon Vilela de Resende<sup>3</sup>  
José Alfredo Sturion<sup>3</sup>  
Ângelo Luiz Ulbrich<sup>4</sup>*

### RESUMO

A produtividade de povoamentos florestais está diretamente relacionada com a taxa de crescimento e a sobrevivência das árvores por unidade de área. Os objetivos deste estudo foram estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos para o caráter sobrevivência e propor uma estratégia de seleção para erva-mate, empregando os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar como critério. Foram avaliadas 164 progênies de meios irmãos, de oito procedências, em três locais de experimentação (Ivaí-PR, Guarapuava-PR e Rio Azul-PR). Os componentes de variância, parâmetros genéticos e valores genéticos foram computados pelo procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada) ao nível de indivíduos. A transformação de probitos foi empregada a fim de obter os parâmetros na escala normal, para o caráter sobrevivência. As estimativas de herdabilidades individuais no sentido restrito na escala normal foram de 0,13 em Ivaí, 0,59 em Guarapuava e de 0,19 em Rio Azul para o caráter sobrevivência. O efeito de procedências foi significativo em Ivaí e Rio Azul. Evidenciou-se uma alta correlação genética aditiva entre os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar, tanto dentro de procedência quanto entre procedências, nos três locais. A utilização da variável produção de

<sup>1</sup> Bióloga, Doutora, Pesquisadora da *Embrapa Gado de Corte*. [rosangela@cnpqc.embrapa.br](mailto:rosangela@cnpqc.embrapa.br)

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo. Universidade Federal do Paraná. [cunha@bio.ufpr.br](mailto:cunha@bio.ufpr.br)

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, Doutores, Pesquisadores da *Embrapa Florestas*. [deon@cnpf.embrapa.br](mailto:deon@cnpf.embrapa.br)  
[sturion@cnpf.embrapa.br](mailto:sturion@cnpf.embrapa.br)

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo. ALU – Agronomia e Planejamento Agrário Ltda. Rio Azul-PR

massa foliar por hectare, como critério de seleção, mostrou-se como uma alternativa segura para contornar a questão de falhas nos experimentos de campo para fins de melhoramento da erva-mate.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Ilex paraguariensis*, parâmetros genéticos, REML/BLUP.

## **GENETIC ANALYSIS OF SURVIVAL IN ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) AND ITS IMPLICATIONS FOR PRODUCTIVITY SELECTION**

### **ABSTRACT**

The productivity of forest plantation is highly related to the growth rate and survival by unit of area. The aims of this work were to estimate genetic and phenotypic parameters for the survival and to delineate a breeding strategy for *Ilex paraguariensis* St. Hil. using this trait and leaf weight as a selection criteria. Eight provenances with 164 families were evaluated at three sites (Ivaí-PR, Guarapuava-PR and Rio Azul-PR). Variance components, genetic parameters and genetic values were computed by the REML/BLUP (restricted maximum likelihood/ best linear unbiased prediction) at the individual level. The probit transformation was used for obtaining the parameter estimates for survival in the normal scale. Individual heritability estimates for survival on the normal scale were 0.13, 0.59 and 0.19 in Ivaí-PR, Guarapuava-PR and Rio Azul-PR, respectively. The provenance effect was significant in Ivaí and Rio Azul. High additive genetic correlation estimates between the two traits were obtained among and within provenances in the three sites. The use of the trait leaf weight per hectare as a selection criteria revealed a safe alternative to avoid the problem of the missing plants in the trials, for breeding purposes.

**KEY-WORDS:** *Ilex paraguariensis*, genetic parameters, REML/BLUP.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal dos programas de melhoramento de espécies florestais, incluindo erva-mate, é o de aumentar a produtividade, combinando desta forma a taxa de crescimento por árvore, com a sobrevivência por unidade de área. Na prática, entretanto, aspectos relativos ao controle genético do caráter sobrevivência e o seu impacto sobre a estrutura genética da população não têm recebido muita atenção (Chambers et al., 1996; Wei & Borralho, 1998). A sobrevivência, particularmente, nos estádios iniciais do desenvolvimento, não tem sido incluída como um caráter a ser avaliado em programas de melhoramento florestal, embora seu impacto sobre a produtividade possa ser grande.

A mortalidade de plantas, em cada local de experimentação, pode ser atribuída a várias causas, tais como, exposição ao frio ou seca, danos causados pelo vento, por pragas e doenças ou por competição. Verifica-se que, nestes casos, a sobrevivência é uma característica essencialmente adaptativa.

Na avaliação da sobrevivência, a primeira questão a ser respondida é se há uma distribuição aleatória de indivíduos vivos ou mortos para uma dada condição experimental. Para isso, o melhor procedimento é realizar uma análise de variância para esse caráter e verificar se há diferenças significativas entre os tratamentos (Ramalho et al., 2000).

Se não forem evidenciadas diferenças significativas, pode-se inferir que a sobrevivência ocorreu de forma aleatória para os materiais sob avaliação. A mortalidade aleatória não afeta as estimativas de variâncias dos caracteres de crescimento avaliados, mas aumenta o erro padrão da estimativa da herdabilidade, pelo fato de ter se baseado em um número menor de árvores (Matheson & Raymond, 1984). Sugere-se assim, o uso da covariância para reduzir o erro experimental (aumentando a precisão na comparação entre tratamentos) e ajustar as médias e os valores fenotípicos individuais para as diferenças no número de plantas nas parcelas, procedimento este adequado para fins de seleção (Ramalho et al., 2000).

A distribuição não aleatória da sobrevivência sob condição experimental, diagnosticada por diferenças significativas entre os tratamentos (progênies e/ou procedências), pode apresentar sérias implicações no processo seletivo (Matheson & Raymond, 1984; Wei & Borralho, 1998).

Em espécies florestais, há evidências de alterações nos valores das variâncias genéticas em função de desbastes seletivos, cujos efeitos práticos são os mesmos da sobrevivência diferencial (Matheson & Raymond, 1984; Cotterill & Dean, 1988) e, em função da sobrevivência propriamente dita (Chambers et al., 1996). Tais efeitos podem ser o de reduzir as diferenças entre as melhores e piores famílias, reduzindo assim a herdabilidade, como evidenciado por Cotterill & Dean (1988) em *Pinus radiata* e por Wei & Borralho (1998) em *Eucalyptus urophylla* ou o de reduzir a variação dentro de famílias, aumentando assim a herdabilidade, como evidenciado por Matheson & Raymond (1984), em *Pinus radiata* e por Wyk (1990), em *Eucalyptus grandis*. Esses resultados podem estar refletindo os diferentes tipos e intensidade de mortalidade e os seus efeitos nos caracteres de crescimento avaliados.

A principal implicação para o melhorista, dos efeitos da mortalidade sobre as variâncias genéticas, é que essas podem levar a estimativas viciadas dos valores genéticos dos indivíduos na idade de seleção, quando não consideradas adequadamente.

Para fins de seleção, estimativas fidedignas de componentes de variância e predição não viciada de valores genéticos, devem ser obtidas pela metodologia de modelos mistos de forma simultânea pelo procedimento de máxima verossimilhança restrita/ melhor predição linear não viciada (REML/BLUP). Esse procedimento, no modelo multivariado, baseia-se em informações ao longo das idades de avaliação, antes da seleção, e, no parentesco entre os indivíduos na população base (Wei & Borralho, 1998; Resende, 1999).

A questão da sobrevivência diferencial de grupos de indivíduos deve ainda ser abordada sob enfoque da correlação entre esse caráter e os caracteres de crescimento usados como critérios de seleção. Assim: (i) a correlação pode ser positiva e alta, indicando que os genótipos superiores para um caráter também o serão para o outro, como evidenciado em *Eucalyptus globulus* por Chambers et al. (1996); (ii) a correlação pode ser nula, como detectado por Resende et al. (1992), em *Acacia mearnsii*, indicando que o controle genético das características de crescimento avaliadas e a sobrevivência era diferente e, portanto, a seleção para um não afetaria o outro; (iii) a correlação pode ser negativa, como obtida por Dutkowski (1995) ao avaliar progênies e procedências de *Eucalyptus globulus*, para tolerância à seca e taxa de crescimento.

Em todas essas situações, a sobrevivência, torna-se importante quando o objetivo é aumentar a produtividade e deve ser considerada no processo seletivo, seja na forma de índice ou como caráter auxiliar na seleção. Para tanto, deve-se considerar a magnitude das herdabilidades e das correlações entre os caracteres (Resende, 1999).

Para correlações de alta magnitude e positivas, uma alternativa bastante segura para contornar as questões de falhas nos experimentos de campo, foi proposta por Resende (1999), através da obtenção de valores genéticos preditos para a variável volume por hectare.

Um fator complicador no estudo do controle genético da sobrevivência é a sua natureza binomial, ou seja, ocorrem apenas dois grupos distintos de fenótipos: morto ou vivo. O caráter sobrevivência enquadra-se num grupo em que a herança é quantitativa, no entanto, a expressão fenotípica é descontínua. São os chamados caracteres de limiar (Falconer, 1989).

O modelo conceitual de análise dos caracteres de limiar assume a existência de uma distribuição contínua (normal), não observável conectada à distribuição discreta observável, através de um ponto de truncamento ou limiar (Lush et al., 1948; Robertson & Lerner, 1949; Dempster & Lerner, 1950). Para tais caracteres é importante que sejam empregados procedimentos estatísticos adequados na estimação de parâmetros genéticos e na predição de valores genéticos (McGuirk, 1989).

Um dos procedimentos de análise de dados na escala binomial, refere-se à estimativa da herdabilidade, através de uma análise de variância convencional, para dados não transformados e, posteriormente, utilização da transformação de probitos (Bliss, 1935; Dempster & Lerner, 1950). Atualmente, as estimativas de herdabilidade na escala binomial são obtidas via metodologia de modelos mistos e transformadas para a escala normal.

Segundo McGuirk (1989), há inúmeras vantagens de se trabalhar na escala normal. Uma delas seria na comparação de estimativas de herdabilidades obtidas em diferentes populações. Além disso, a herdabilidade na escala normal fornece uma base mais fidedigna para comparar grupos de indivíduos (populações e /ou progênies) através de diferentes ambientes com diferentes causas de mortalidade (Chambers et al., 1996).

O presente trabalho teve como objetivo estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para o caráter sobrevivência e estabelecer correlações genéticas e fenotípicas entre a sobrevivência e o caráter produção de massa foliar, bem como, propor uma estratégia de seleção empregando ambos caracteres como critério, através da análise de populações e famílias de *Ilex paraguariensis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para implementação dos experimentos em três locais (Ivaí-PR, Guarapuava-PR e Rio Azul-PR) foram amostradas oito procedências de erva-mate com um número total de famílias diferentes igual a 164 (Tabela 1). As coordenadas geográficas e informações ambientais dos locais de coleta são dadas pela Tabela 2.

**Tabela 1.** Número de progênies avaliadas por procedência em cada local.

Procedências	Número de progênies		
	Ivaí	Guarapuava	Rio Azul
Ivaí	25	24	25
Colombo	18	10	20
Barão de Cotegipe	21	16	21
Quedas do Iguaçu	24	17	25
Pinhão	22	11	24
Antônio Olinto	5	5	17
Cascavel	25	19	24
São Mateus do Sul	1	0	0
Totais	141	102	156

**Tabela 2.** Coordenadas geográficas e classes de solo dos locais de coleta de sementes.

Localidade	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura Média (°C)	Tipo Climático	Solo do experimento ou solos dominantes na região
Colombo,PR	25° 22´	49° 06´	912	1.400-1.500	16-17	Cfb	Cambissolo húmico Aluminico textura argilosa.
Cascavel,PR	24° 57´	53° 27´	750	1.800-2.000	18-19	Cfa/Cfb	Latossolo vermelho Distrófico textura argilosa.
Quedas do Iguaçu,PR	25° 25´	52° 55´	590		18-19	Cfa	Nitossolo vermelho Eutrófico textura argilosa. Latossolo vermelho Distrófico textura argilosa.
Ivaí, PR	25° 01´	50° 48´	600	1.500-1.600	17-18	Cfb	Latossolo Vermelho/latossolo bruno Distrófico textura argilosa.
Barão de Cotegipe – RS	27° 38´	52° 23´	530	—	—	Cfa	Nitossolo vermelho Eutrófico textura argilosa.
Pinhão, PR	25° 41´	51° 40´	1.050	1.500-1.600	17-18	Cfb	Latossolo vermelho Distrófico textura argilosa. Cambissolo húmico Aluminico textura argilosa.
Antônio Olinto – PR	25° 59´	50° 12´	790	1.200-1.300	17-18	Cfb	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico textura argilosa.

Fonte: Embrapa (1999).

O delineamento adotado foi o de blocos, ao acaso, com 10 repetições em Ivaí e cinco repetições em Guarapuava e Rio Azul, todos com parcelas lineares de seis plantas e espaçamento 3 m x 2 m. As progênies foram casualizadas independentemente das procedências. Os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar, em quilogramas por planta (kg/planta), foram avaliados aos 28 meses em Ivaí e, aos 26 meses em Guarapuava e Rio Azul, contados a partir da data de instalação dos experimentos.

Foi adotado o modelo linear misto, segundo Resende et al. (1999), para a avaliação de progênies de meios irmãos, no delineamento em blocos ao acaso, com várias plantas por parcela, uma medição de peso foliar por indivíduo. Esse caráter foi avaliado em três testes, com oito procedências, com algumas famílias comuns.

$$y = Xb + Za + Wp + Tc + e, \text{ em que:}$$

$y$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $p$ ,  $c$  e  $e$ : vetores de dados em nível de indivíduo ( $y$ ), de efeitos fixos (médias dos blocos por local) ( $b$ ), de efeitos genéticos aditivos (aleatório) ( $a$ ), de efeitos de procedências (aleatório) ( $p$ ), de efeitos de parcela de famílias (aleatório) ( $c$ ) e de erros aleatórios ( $e$ ), respectivamente.

$X$ ,  $Z$ ,  $W$  e  $T$ : matrizes de incidências para  $b$ ,  $a$ ,  $p$  e  $c$ , respectivamente.

Considerando-se os três locais, têm-se os modelos por local:

$$y_1 = X_1 b_1 + Z_1 a_1 + W_1 p_1 + T_1 c_1 + e_1$$

$$y_2 = X_2 b_2 + Z_2 a_2 + W_2 p_2 + T_2 c_2 + e_2$$

$$y_3 = X_3 b_3 + Z_3 a_3 + W_3 p_3 + T_3 c_3 + e_3$$

Adotando-se um modelo multivariado (Henderson & Quaas, 1976; Schaeffer et al., 1978; Resende, 1999), estes modelos podem ser expressos por:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 \\ 0 & 0 & w_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 & 0 & 0 \\ 0 & T_2 & 0 \\ 0 & 0 & T_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$



Dessa forma,  $a_1$  fornece os valores genéticos preditos de todos os indivíduos para o local 1,  $a_2$  fornece os valores genéticos de todos os indivíduos para o local 2 e  $a_3$  fornece os valores genéticos de todos os indivíduos para o local 3.

Da mesma forma  $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$  fornecem os efeitos de procedência nos locais 1, 2 e 3, respectivamente.

Foram realizadas também análises univariadas, por local de experimentação, visando verificar a significância, no ajuste dos modelos, do efeito de procedências. Para tanto foi empregado o Teste da Razão de Verossimilhança (LRT) (Resende, 1999).

A estimativa dos componentes de variância e dos parâmetros genéticos e a predição dos valores genéticos dos indivíduos, genitoras e procedências foram realizadas através do procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada), empregando-se o programa DFREML (Meyer, 1998).

Para o caráter sobrevivência, a conversão dos parâmetros genéticos obtidos na escala binomial para a escala normal foi realizada, empregando-se a transformação de probitos (Robertson & Lerner, 1949; Resende, 1999). Assim, o parâmetro herdabilidade individual, no sentido restrito, na escala binomial foi transformado para a escala normal através da equação:

$$h_n^2 = h_b^2 [p(1-p)] / Z^2, \text{ em que:}$$

$h_b^2$  : herdabilidade individual no sentido restrito na escala binomial;

p: frequência do fenótipo desejável na população;

Z: ordenada da curva normal padrão no ponto igual a p.

Esse mesmo procedimento foi utilizado para transformar a correlação fenotípica intraclasses entre indivíduos de uma mesma procedência, em diferentes blocos.

A correlação fenotípica entre locais, para o caráter sobrevivência, foi transformada da escala binomial para a escala normal (Resende & Rosa Perez, 1999), através de:

$$r_{(x,y)n} = r_{(x,y)b} \left[ \frac{p_x(1-p_x)}{Z_x^2} \right]^{1/2} \left[ \frac{p_y(1-p_y)}{Z_y^2} \right]^{1/2}, \text{ em que:}$$

$r_{(x,y)b}$ : correlação fenotípica na escala binomial;

$p_x$  e  $p_y$ : incidência dos caracteres x e y, respectivamente;

$Z_x$  e  $Z_y$ : ordenadas da curva normal padrão nos pontos  $p_x$  e  $p_y$ , respectivamente.

A avaliação simultânea dos caracteres produção de massa foliar e sobrevivência empregou o modelo bivariado, por local de experimentação.

Foi realizada a transformação da correlação fenotípica na escala binomial para a escala normal, considerando que apenas o caráter sobrevivência (1) foi avaliado na escala binomial (Olausson & Ronningen, 1975; Resende 1999):

$$\rho_{F(1,2)n} = \rho_{F(1,2)b} \left[ \frac{p_1(1-p_1)}{Z_1^2} \right]^{1/2}$$

$\rho_{F(1,2)n}$  e  $\rho_{F(1,2)b}$ : correlações fenotípicas nas escalas normal e binomial, respectivamente;

$p_1$ : incidência para o caráter sobrevivência;

$Z_1$ : ordenada da curva normal no ponto de  $p_1$ .

As correlações genéticas envolvendo dois caracteres, sendo um deles avaliado na escala binomial e o outro na escala normal, são equivalentes nas escalas binomial e normal (Olausson & Ronningen, 1975).

Para obtenção da variável volume de massa foliar por hectare foram utilizados os valores genéticos preditos para os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar, considerando o espaçamento de 3 m x 2 m (1666,67 árvores/ha).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A sobrevivência avaliada nos três experimentos com erva-mate não ocorreu de forma aleatória, resultando em diferenças significativas entre os tratamentos. Desta forma, foram estimados os parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais que, além da variância genética aditiva dentro e entre procedências, foram sintetizados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos associados à avaliação das procedências conjuntamente através dos locais, para o caráter sobrevivência em erva-mate.

	Local		
	Ivaí	Guarapuava	Rio Azul
$\sigma_{aE}^2$	0,0009	-	0,0021
$\sigma_{aD}^2$	0,0008	0,0038	0,0025
$h_{aDb}^2$	0,02 ± 0,02	0,11 ± 0,07	0,05 ± 0,04
$h_{aDn}^2$	0,13	0,59	0,19
$h_{aEb}^2$	0,03 ± 0,02	0	0,04 ± 0,03
$h_{aEn}^2$	0,15	0	0,16
$c^2$	0,07	0,21	0,14
$\rho_p$	0,5333	-	0,4571
Média	0,97	0,96	0,94
	Ivaí-Guarapuava	Ivaí-Rio Azul	Guarapuava-Rio Azul
$\rho_a$	-0,06	0,52	0,82
$\rho_{pij}$	-	0,99	-
$\rho_{F_b}$	-0,003	0,05	0,07
$\rho_{F_n}$	-0,017	0,48	0,55
LRT	63,365 <sup>s</sup>	0,1308 <sup>ns</sup>	45,107 <sup>s</sup>

$\hat{\sigma}_{aE}^2$ : estimativa da variância genética aditiva entre procedências;  $\hat{\sigma}_{aD}^2$ : estimativa da variância genética aditiva dentro de procedências; estimativas de herdabilidades no sentido restrito ao nível de indivíduo na escala binomial ( $\hat{h}_{aDb}^2$ ) e normal ( $\hat{h}_{aDn}^2$ ); correlação fenotípica intraclasse entre indivíduos de diferentes famílias, mas da mesma procedência na escala binomial ( $\hat{h}_{aEb}^2$ ) e na escala normal ( $\hat{h}_{aEn}^2$ );  $\hat{c}^2$ : correlação intraclasse devida ao ambiente comum da parcela para cada local;  $\rho_p$ : correlação genética intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência mas de diferentes famílias;  $\rho_a$ : correlação genética aditiva entre locais;  $\hat{r}_{pij}$ : correlação genética entre o desempenho de procedências de um local para outro;  $\hat{r}_{F_b}$ : correlação fenotípica entre locais na escala binomial e na escala normal ( $\rho_{F_n}$ ); LRT: Teste de Razão de Verossimilhança, sendo s e ns: significativo e não-significativo, respectivamente, pelo Teste de  $\chi^2$ .

A herdabilidade, no sentido restrito em nível de indivíduo, na escala normal ( $\hat{h}_{aDn}^2$ ) apresentou magnitude que variou de baixa (0,13) a alta (0,59), para taxas de incidência bastante próximas nos três locais. Não existe concordância entre as estimativas de herdabilidade nas duas escalas, a não ser nos casos de incidência extrema, e, especialmente, quando a herdabilidade na escala normal é alta (Dempster & Lerner, 1950; Mercer & Hill, 1984).

A correlação genética intraclasse entre indivíduos de uma mesma procedência mas de diferentes famílias foi de 53,33% em Ivaí e de 45,71% em Rio Azul. Esse resultado indicou que aproximadamente 50% da variância genética aditiva total foi determinada pela variância genética aditiva entre procedências. Na prática, esse resultado denota o peso do efeito de procedências na determinação do mérito genético aditivo dos indivíduos. Dessa forma, nestes dois locais, serão selecionados mais indivíduos das melhores procedências. Em Guarapuava, o efeito de procedências não foi significativo, com base no Teste de Razão de Verossimilhança (LRT).

A ausência de correlação genética entre Ivaí e Guarapuava indicou que fatores seletivos (solos, por exemplo,) atuando nos dois locais e determinando a sobrevivência devem ser diferentes. Nas outras combinações de locais, essa correlação apresentou maior magnitude. Esse resultado pode indicar correspondência de fatores seletivos nos diferentes locais ou ainda uma resposta similar aos fatores seletivos diferentes.

A alta correlação genética entre o desempenho de procedências em Ivaí e Rio Azul indicou que as melhores procedências em um local também o serão no outro, no que se refere à sobrevivência.

Baseados nos resultados apresentados por Floss (1994), estimou-se a correlação genética entre as procedências de erva-mate estudadas, para caracteres de crescimento, através de dois locais de avaliação. Os valores obtidos foram iguais a 0,95 para o caráter diâmetro da copa e 0,86 para altura aos 21 meses de idade. Esses resultados corroboram a maior estabilidade de procedências através de locais do que a apresentada por progênies em erva-mate.

Dvorak & Shaw (1992) e Hodge & Dvorak (1999), também, evidenciaram que procedências eram mais estáveis através dos ambientes do que famílias, ao avaliar

testes de procedências e progênies do gênero *Pinus*, para caracteres de crescimento.

As correlações genéticas e fenotípicas, nas escalas binomial e normal, entre o caráter sobrevivência e o caráter produção de massa foliar, por local, são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Correlações genéticas, fenotípicas e ambientais para os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar.

	Local		
	Ivaí	Guarapuava	Rio Azul
$\rho_{axy}$	0,42	0,82	1,00
$\rho_{pxy}$	0,92	-	0,94
$\rho_{F(x,y)b}$	0,13	0,30	0,22
$\rho_{F(x,y)n}$	0,30	0,69	0,44
$\rho_c$	0,56	0,48	0,47

( $\rho_{axy}$ ) = correlações genéticas aditivas dentro de procedências; ( $\rho_{pxy}$ ) = entre procedências; ( $\rho_{F(x,y)b}$ ) = fenotípicas na escala binomial; ( $\rho_{F(x,y)n}$ ) = fenotípica na escala normal; ( $\rho_c$ ) = correlação ambiental, ao nível do efeito de parcela, por local.

As correlações genéticas aditivas entre os caracteres, tanto dentro de procedências quanto entre procedências, foram positivas e de alta magnitude, com exceção da magnitude da correlação genética dentro de procedências em Ivaí ( $r_{ax,y} = 0,42$ ). Esses resultados sugerem que os genes responsáveis pela produção de massa foliar, estão associados àqueles que promovem a sobrevivência. A alta correlação entre sobrevivência e caracteres de crescimento, como discutido por Chambers et al. (1996), pode ser devida a efeitos causais diretos, ou seja, com um maior crescimento, maior a chance de sobreviver a alguns estresses ambientais, tais como competição.

As correlações fenotípicas, que mediram a associação fenotípica entre os

caracteres sobrevivência e produção de massa foliar, foram de baixa magnitude em Ivaí e Rio Azul e de média magnitude em Guarapuava, quando comparadas na escala normal. Os coeficientes de correlação ambiental, positivos e de média magnitude em Ivaí e baixa em Rio Azul e Guarapuava, indicam que os ambientes afetam igualmente a sobrevivência e a produção de massa foliar.

Segundo Resende (1999), uma das vantagens de se trabalhar com os parâmetros de caracteres de limiar na escala normal, é permitir a realização de estudos e prática de seleção indireta, bem como a realização de seleção, usando caracteres auxiliares. Desta forma, foi obtida a eficiência da seleção indireta e da seleção, usando caracteres auxiliares em relação à seleção direta, tanto para o caráter produção de massa foliar quanto para sobrevivência, para cada local (Tabela 5).

**Tabela 5.** Eficiências de estratégias de seleção visando ganho nos caracteres produção de massa foliar (x) e sobrevivência (y) em relação à seleção direta nesses caracteres.

	Local		
	Ivaí	Guarapuava	Rio Azul
Seleção Indireta (y/x) (Ganho em produção de massa foliar)	0,39	0,80	0,91
Seleção Indireta (x/y) (Ganho em sobrevivência)	0,45	0,84	1,10
Seleção multivariada (x,y/y) (Ganho em sobrevivência)	1,06	1,39	1,33
Seleção multivariada (x,y/x) (Ganho em produção de massa foliar)	1,05	1,38	1,23

As estimativas de eficiência do ganho indireto indicaram que apenas em Rio Azul (Ef. = 1,10) a seleção indireta, com base apenas no caráter produção de massa foliar, poderia ser praticada e resultar em ganho indireto em sobrevivência. Isto, em função da alta correlação genética entre esses dois caracteres e, à maior herdabilidade estimada para produção de massa foliar em relação à herdabilidade para sobrevivência, neste local. Em todas as outras situações, a eficiência da seleção indireta é menor que a seleção direta no próprio caráter.

A seleção multivariada apresentou maior eficiência que as demais modalidades de

seleção, sendo que uma menor eficiência foi verificada em Ivaí, do que nos outros locais. Esse resultado, provavelmente, ocorreu em função da menor correlação genética aditiva dentro de procedências e da baixa magnitude da correlação fenotípica entre os caracteres, neste local, contrariamente, ao que foi evidenciado, em Guarapuava. O efeito de procedências não foi considerado nestes cálculos, o que permite considerar que houve uma subestimativa dos ganhos com a seleção direta, indireta e multivariada em Ivaí e Rio Azul, onde tal efeito foi significativo.

Como o objetivo da seleção envolve os caracteres sobrevivência e produção de massa foliar, adoção de um sistema de seleção que considere os dois caracteres conjuntamente deve ser atendido na prática. Empregou-se o procedimento de seleção pelo valor genético da variável produção de massa foliar por hectare, adaptando para erva-mate o procedimento apresentado por Resende (1999), para seleção pela variável volume por hectare em *Eucalyptus grandis*.

Verificou-se que a seleção com base no valor genético da variável produção de massa foliar por hectare, alterou o ordenamento dos indivíduos que haviam sido selecionados apenas com base no valor genético do caráter produção de massa foliar. Em Guarapuava, dos 50 indivíduos superiores para a variável produção de massa foliar por hectare, três não haviam sido selecionados entre os 50 superiores para o caráter produção de massa foliar (Tabela 6).

**Tabela 6.** Valores genéticos preditos para o caráter produção de massa foliar por hectare ( $vg_{p/ha}$ ) e ordem para o valor genético apenas para o caráter produção de massa foliar ( $vg_p$ ) considerando 50 genitoras com progênies em Ivaí-PR, Guarapuava-PR e Rio Azul-PR.

Ivaí-PR		Guarapuava-PR		Rio Azul-PR	
Ordem para $VG_p$	$VG_{p/ha}$	Ordem para $VG_p$	$VG_{p/ha}$	Ordem para $VG_p$	$VG_{p/ha}$
1	2277,4316	1	993,1569	1	865,3750
2	2124,5589	2	983,8619	3	822,0351
3	1993,6575	3	980,7214	2	819,6112
5	1958,5966	4	909,3926	4	783,7098
4	1927,8914	5	867,0184	5	780,1460
6	1890,6861	6	858,3008	7	736,2806
7	1868,5883	7	806,3399	8	720,2315

continua ...



**Tabela 6. Continuação**

Ivaí-PR		Guarapuava-PR		Rio Azul-PR	
Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p</sub> /ha	Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p</sub> /ha	Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p</sub> /ha
9	1845,4952	8	804,9965	6	718,9788
8	1835,8732	9	759,8127	10	682,6519
10	1828,5871	10	731,8970	13	680,2144
12	1760,9171	11	721,0363	11	679,9585
11	1754,3690	12	714,4316	12	679,1344
13	1749,5350	13	676,0892	9	675,7297
14	1741,9675	14	620,2072	14	669,1876
16	1712,3462	15	586,6228	15	663,5724
17	1709,6101	19	573,0556	16	653,8245
15	1708,1246	20	569,2058	17	645,8590
18	1701,3596	17	568,0318	18	627,3675
20	1683,9175	18	559,1179	21	621,5868
22	1681,5476	16	551,0813	20	620,5743
19	1672,9525	21	537,3020	19	607,0636
21	1672,0783	23	527,9464	22	603,3190
23	1638,9770	22	520,8355	24	592,0905
26	1632,8698	25	510,5845	25	582,8031
25	1620,4775	24	502,5415	26	580,1150
27	1614,8548	31	490,9602	27	569,7925
30	1604,0637	28	484,1354	28	563,2034
29	1603,0699	32	480,7797	29	562,7034
28	1602,6153	33	479,2087	23	557,9439
31	1602,4518	30	474,6624	30	555,9202
32	1588,5032	27	470,9477	31	550,0628
24	1588,1260	34	470,4533	37	543,2575
35	1576,4490	35	470,2294	33	542,8962
33	1556,7680	36	461,0051	38	540,1284
34	1556,1937	38	458,2375	34	535,5164
36	1554,8640	37	456,9459	36	533,6510
39	1520,7847	26	455,9864	41	526,3584
37	1516,7470	29	455,3602	35	519,8562
38	1515,2641	39	452,6775	43	517,9987

continuação ...

**Tabela 6. Continuação**

Ivaí-PR		Guarapuava-PR		Rio Azul-PR	
Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p/ha</sub>	Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p/ha</sub>	Ordem para VG <sub>p</sub>	VG <sub>p/ha</sub>
43	1485,3816	40	451,3130	32	515,9912
42	1474,9688	41	449,7262	40	515,8374
41	1473,2090	43	443,6265	45	515,7683
46	1458,7010	44	437,0450	46	514,9913
48	1448,9105	49	434,4527	48	508,4566
40	1441,2062	42	430,1430	47	504,0147
47	1432,5174	50	429,3615	42	502,4706
49	1428,8393	53	425,3804	50	497,6412
44	1425,5951	47	419,8326	49	494,5826
45	1420,8922	52	418,0518	44	489,1550
50	1418,2732	58	415,1813	39	487,4300

Em Ivaí e Rio Azul houve apenas uma alteração na ordem dos 50 indivíduos selecionados pelo valor genético do caráter produção de massa foliar.

Esses resultados revelam a importância da consideração da caráter sobrevivência nos programas de melhoramento florestal. O uso do procedimento BLUP, que penalizou as genitoras cujas progênies sobreviveram menos, por ocasião da predição dos valores genéticos para produção de massa foliar, associado à obtenção dos valores genéticos preditos para sobrevivência, mostrou-se uma alternativa segura para contornar a questão de falhas nos experimentos de campo.

#### 4. CONCLUSÕES

As procedências são mais estáveis através dos ambientes que as progênies para o caráter sobrevivência.

A seleção com base na variável produção de massa foliar por hectare é uma alternativa segura para obtenção de ganho em produtividade considerando, também o caráter sobrevivência. Nesse sentido, as procedências mais produtivas foram: Ivaí, Barão de Cotegipe, Quedas do Iguaçu e Cascavel.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLISS, C. I. The calculation of the dosage mortality curve. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 22, p. 134-167, 1935.

CHAMBERS, P. G. S.; BORRALHO, N. M. G.; POTTS, B. M. Genetic analysis of survival in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 45, n. 2-3, p. 107-112, 1996.

COTTERILL, P. P.; DEAN, C. A. Changes in the genetic control of growth of *Radiata pine* to 16 years and efficiencies of early selection. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 37, p. 138-146, 1988.

DEMPSTER, E. R.; LERNER, I. M. Heritability of threshold characters. **Genetics**, v. 35, p. 212-236, 1950.

DUTKOWSKI, G. W. Genetic variation in drought susceptibility of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in plantations in Western Australia. In: EUCALYPT PLANTATIONS: Improving Fibre Yield and Quality, 1995, Hobart. **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 199-203.

DVORAK, W. S.; SHAW, E. A. Five year results for growth and stem form of *Pinus tecunumanii* in Brazil, Colombia and South Africa. **CAMCORE Bulletin on Tropical Forestry**, Raleigh, n. 10, p. 1-22, dec. 1992.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. New York: Ronald Press, 1989. 438 p.

FLOSS, P. A. **Variações genéticas entre populações naturais de *Ilex paraguariensis* St. Hil. (Erva-mate) avaliadas em Chapecó-SC e Três Barras-SC**. 1994. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science**, Champain, v. 3, p. 1188-1197, 1976.

HODGE, G. R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus tecunumanii* in 78 international trials. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 6, n. 3, p. 157-180, 1999.

LUSH, J. L.; LAMOREUX, W. F.; HAZEL, L. N. The heritability of resistance to death in the fowl. **Poultry Science**, Savoy, v. 27, p. 375-388, 1948.

MATHESON, A. C.; RAYMOND, C. A. Provenance x environment interaction: its detection, practical importance and use with particular reference to tropical forestry. In: BARNES, R. D.; GIBSON, G. L. (Ed.). **Genetic improvement strategies in tropical forest trees**. Mutare: IUFRO, 1984. p. 81-117.

McGUIRK, B. J. The estimation of genetic parameters for all-or-none and categorical traits. In: HILL, W. G.; MACKAY, T. F. C. (Ed.). **Evolution and animal breeding**: reviews on molecular and quantitative approaches in honour of Alan Robertson. Wallingford: CAB International, 1989. p. 175-180.

MERCER, J. T.; HILL, W. G. Estimation of genetic parameters for skeletal in broiler chickens. **Heredity**, Oxford, v. 53, p. 193-293, 1984.

MEYER, K. **DFREML**: version 3.0b, user notes. Armidale: Institute of Animal Genetics of Edinburgh: Animal Genetics and Breeding Unit of the University of New England, 1998. 31 p.

OLAUSSON, A.; RONNINGEN, K. The estimation of genetic parameters for threshold characters. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 26, p. 201-208, 1975.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação genética e melhoramento de plantas**. Lavras: Ed. da UFLA, 2000.

RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R.; HELLER, J. B.; STEIN, P. P. Parâmetros genéticos e interação genótipos x ambientes em teste de procedências e progênies de acácia-negra (*Acacia mearnsii*). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 24/25, p. 55-65, 1992.

RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C.; SIMEÃO, R. M.; BLUP individual multivariado em presença de interação genótipos x ambientes para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 209-228, 1999.

RESENDE, M. D. V. de; ROSA-PEREZ, J. R. H. **Genética quantitativa e estatística no melhoramento animal**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1999. 315 p.

RESENDE, M. D. V. de. **Predição de valores genéticos, componentes de variância, delineamentos de cruzamento e estrutura de populações no melhoramento florestal**. 1999. 420 f. Tese (Doutorado em Genética) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROBERTSON, A.; LERNER, I. M. The heritability of all-or-none traits: viability of poultry. **Genetics**, v. 34, p. 395-411, 1949.

SCHAEFFER, L. R.; WILTON, J. W.; THOMPSON, R. Simultaneous estimation of variance and covariance components from multitrait mixed model equations. **Biometrics**, Washington, v. 34, p. 199-208, 1978.

WEI, X.; BORRALHO, N. M. G. Use of individual tree mixed models to account for mortality and selective thinning when estimating base population genetic parameters. **Forest Science**, Bethesda, v. 44, n. 2, p. 246-253, 1998.

WYK, G. van. Genetic improvement of timber yield and wood quality in *Eucalyptus grandis*. I. Genetic parameters of growth characteristics. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 153, p. 1-11, 1990.

