

Eficiência do Delineamento Experimental e Capacidade de Teste no Melhoramento Genético da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)

José Alfredo Sturion¹
Marcos Deon Vilela de Resende²

RESUMO

A seleção de plantas perenes é efetuada com base no ordenamento dos valores genéticos dos indivíduos candidatos à seleção, obtidos a partir de seus valores fenotípicos, os quais são mais precisos quanto maior for o controle da heterogeneidade ambiental. Assim, o presente trabalho teve por objetivos estudar: 1) a capacidade do teste e a eficiência do delineamento experimental em termos de controle local, por meio da significância do teste F de Snedecor para efeito de blocos; 2) a variabilidade espacial dentro dos blocos por meio do coeficiente de correlação intraclasse entre indivíduos de uma mesma parcela (c^2); e 3) a interação genótipo x ambiente dentro do sítio pelo coeficiente de correlação genética entre repetições. Os dados referem-se ao peso de massa foliar obtida aos seis anos de idade, por ocasião da terceira poda, em um teste com 141 progênies de meios-irmãos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* var. *paraguariensis*), instalado na região de Ivai – PR, no delineamento de blocos ao acaso com dez repetições e parcelas lineares com seis plantas, no espaçamento de 3 x 2 m. Devido a significância do teste F entre blocos e o baixo valor para c^2 (0,0799), conclui-se que, tanto o delineamento utilizado, como a capacidade do teste, foram eficientes. Já o ganho genético corrigido para o peso de massa foliar acusou uma perda de 3,48% em função da interação genótipo x ambiente dentro do sítio.

Palavras-chave: variabilidade espacial, correlação genética, coeficiente de correlação intraclasse na parcela.

¹ Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. sturion@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. deon@cnpf.embrapa.br

Experimental Design Efficiency and Test Ability on Erva-mate Genetic Improvement

ABSTRACT

The perennial plant selection is based on individual genetic values predicted from phenotypic observations. The more adequate the control of environmental variability, the more accurate the prediction. This paper aimed to investigate: 1) the test ability by using the significance of Snedecor F test for block effects; 2) the spatial variability within blocks by using the plot intraclass correlation coefficient; 3) the experimental design efficiency in terms of the local control, by using the significance of Snedecor F test for block effects and the plot intraclass correlation coefficient (c^2), simultaneously; 4) the genotype x environmental interaction within site, by using the genetic correlation coefficient across replications. The used data concerned to leaf weight of 141 erva-mate half sib families, grown in a randomised complete block design with 10 replications and six plants per plot spaced 3 x 2 meters. The data were collected at age six in the third leaf harvesting. The design efficiency was high and the test ability adequate, as a result of the significance of block effects and low c^2 value (0.0799). There was a loss of 3.48% in genetic gain due to the genotype x environmental interaction within site.

Keywords: spatial variability, genetic correlation, plot intraclass correlation coefficient.

1. INTRODUÇÃO

Na análise de experimentos em genética e melhoramento de plantas conduzidos em um único ambiente, tradicionalmente, tem-se enfatizado mais a análise genética do que a ambiental. Embora a seleção deva basear-se em um ordenamento dos valores genéticos dos indivíduos candidatos à seleção, a utilização prática e a comprovação do valor real dos materiais genéticos melhorados baseia-se em seus valores fenotípicos, os quais são influenciados pelo ambiente. Isto justifica uma análise mais detalhada dos efeitos ambientais em um experimento (RESENDE & STURION, 2001).

Tal análise ambiental deve enfatizar pelo menos três fatores: (i) a eficiência do delineamento em termos do controle local; (ii) a variabilidade espacial dentro dos estratos ambientais homogêneos (blocos); (iii) a interação genótipo x ambiente dentro de um mesmo sítio ou fazenda. O fator (i) pode ser estudado com base na significância do teste F de Snedecor associado a fonte de variação blocos na análise de variância. A variabilidade espacial dentro dos blocos (fator ii) pode ser estudada através do coeficiente de correlação intraclasse entre indivíduos de uma mesma parcela, devido ao ambiente comum da parcela (c^2) o qual pode, alternativamente, ser denominado coeficiente de determinação dos efeitos ambientais entre parcelas. Por sua vez, o fator (iii) pode ser investigado com base na correlação genética intraclasse (ρ_g) dos materiais genéticos ao longo das repetições, ou seja, de uma repetição para outra.

Com base nessas considerações, o presente trabalho tem por objetivos verificar a eficiência do delineamento, a variabilidade espacial e a interação genótipo x ambiente em um teste de progênie de erva-mate (*Ilex paraguariensis* var. *paraguariensis*), integrante da rede experimental coordenada pela *Embrapa Florestas*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material genético constitui-se de 140 progênies de meios-irmãos de erva-mate. O delineamento utilizado para a instalação do experimento, em Ivai – PR, foi o de blocos casualizados, com dez repetições. As parcelas constituíram-se de uma linha de seis plantas. O espaçamento entre plantas foi de 3m x 2m. Aos seis anos de idade o experimento foi podado pela terceira vez, sendo pesada a massa foliar de cada planta.

Na área do teste predominam solos da classe LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (EMBRAPA, 1999), caracterizados por serem profundos, acentuadamente drenados, porosos, muito argilosos (72% de argila) e pela coloração bruno avermelhada-escuro. Quimicamente, são ácidos com saturação de bases baixa e saturação com alumínio elevada. Ocorrem em relevo suave ondulado com declives em torno de 4% e em altitudes variando de 700 a 750 metros e originados de rochas sedimentares (argilito). A área do teste instalado em Ivai-PR está sob a influência do tipo climático Cfa - clima subtropical úmido

mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22 °C e a dos meses mais frios é inferior a 18 °C, temperatura média anual entre 17 °C e 18 °C, precipitação média anual em torno dos 1.500 mm e excedente hídrico de 500 a 800 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos obtidas por meio do programa genético-estatístico SELEGEN-REML/BLUP, desenvolvido por Resende (2002), encontram-se abaixo:

F.V.	G.L.	Q.M.	Q.M.	E (QM)	F
Bloco (B)	9	Q ₁	122,8002	-	-
Progênes(P)	140	Q ₂	166,5492	$s_d^2 + n s_e^2 + n b s_g^2$	12,2835 (F)
Resíduo(BxP)	1260	Q ₃	13,5588	$s_d^2 + n s_e^2$	1,6870 (F*)
Dentro de parcela	7050	Q ₄	8,0372	s_d^2	

As estimativas dos parâmetros de interesse são:

$\hat{s}_d^2 = Q_4 = 8,0372$ = estimativa da variância dentro de parcelas.

$\hat{s}_e^2 = (Q_3 - Q_4) / n = 0,92027$: estimativa da variância entre parcelas.

$\hat{s}_g^2 = (Q_2 - Q_3) / n b = 2,54842$: estimativa da variância genotípica entre progênes.

$\hat{c}^2 = \frac{\hat{s}_e^2}{\hat{s}_d^2 + \hat{s}_e^2 + \hat{s}_g^2} = 0,07997$: estimativa do coeficiente de determinação dos efeitos de parcela.

$\hat{r}_g = \frac{\hat{s}_g^2}{\hat{s}_g^2 + \hat{s}_e^2} = \frac{1}{1 + \frac{(F^* - 1)}{F - 1} \frac{b}{F^*}} = 0,73480$: estimativa da correlação genética intraclasse dos materiais genéticos através das repetições.

A significância dos efeitos de blocos deve ser analisada em conjunto com o parâmetro c^2 . Assim, têm-se quatro situações: (a) F para blocos significativo e c^2 alto; (b) F para blocos significativo e c^2 baixo; (c) F para blocos não significativo e c^2 baixo; (d) F para blocos não significativo e c^2 alto. Um c^2 alto significa alta variabilidade entre parcelas no bloco e um c^2 baixo significa baixa variação entre parcelas no bloco. Considerando o conceito de capacidade de teste como a capacidade do experimento propiciar aos materiais genéticos experimentar diferentes condições ambientais, pode-se fazer as inferências apresentadas a seguir.

Na situação (a), pode-se dizer que o delineamento não foi totalmente eficiente mas que a capacidade de teste foi adequada. Isto porque, embora os blocos tenham apresentado diferenças significativas entre eles, uma grande heterogeneidade ambiental dentro dos blocos permaneceu. Em (b) pode-se inferir que o delineamento foi eficiente e a capacidade de teste adequada. Em (c), a inferência é que existe uma grande homogeneidade ambiental na área experimental e, neste caso, qualquer delineamento é eficiente mas não existe uma capacidade de teste adequada, podendo-se incorrer no risco da seleção de materiais genéticos com pequena plasticidade fenotípica. A situação (d), por sua vez, denota que o delineamento não foi eficiente e a capacidade de teste inadequada. Neste último caso, o melhorista deve procurar métodos mais sofisticados de análise, tais como uma análise espacial visando a realização de uma estratificação em blocos a posteriori. As causas dos resultados associados à situação (d) podem ser atribuídas a: (i) blocos muito grandes foram alocados, de forma que a variação dentro de blocos tendeu a ser próxima da magnitude da variação entre blocos (a correlação intraclasses entre parcelas dentro de bloco, r_b , foi muito baixa); (ii) o gradiente ambiental (de fertilidade, por exemplo) ocorre em vários sentidos. As quatro situações mencionadas encontram-se sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Inferências práticas sobre eficiência de delineamento e capacidade de teste, em função das estatísticas F de Snedecor para blocos e coeficiente de determinação dos efeitos de parcela (c^2).

Situação	F	c^2	Eficiência de delineamento	Capacidade de teste
(a)	Significativo	Alto	Não	Sim
(b)	Significativo	Baixo	Sim	Sim
(c)	Não significativo	Baixo	Sim	Não
(d)	Não significativo	Alto	Não	Não

Em resumo, esta análise deve ser realizada e pode apresentar quatro situações práticas: a) o melhorista deve utilizar métodos mais sofisticados de análise; b) é a situação ideal ao melhorista; c) o melhorista deve prever maior perda de ganho genético realizado devido a interação genótipo x ambiente e d) o melhorista deve lançar mão de métodos mais sofisticados de análise, mas não necessariamente conseguirá uma capacidade de teste adequada.

Nas situações (a) e (b), o melhorista deveria usar outro delineamento, como o látice ou o quadrado latino. Os métodos de estratificação em blocos a posteriori tenderão a propiciar maior eficiência de delineamento, e capacidade de teste, quando os experimentos forem implantados no delineamento inteiramente casualizado e com uma planta por parcela.

Interpretando-se os valores de F para blocos (9,05686) e \hat{c}^2 (0,07997), pode-se enquadrar o presente experimento na situação (b), que é a ideal ao melhorista e, portanto, pode-se inferir que a experimentação foi adequada.

Os valores de \hat{c}^2 observados em bons experimentos em plantas perenes situam-se em torno de 0,10 (quando a herdabilidade estimada é da ordem de 0,30 – no presente caso, a herdabilidade individual no sentido restrito foi de 0,24), ou seja, 10% da variação fenotípica total dentro do bloco. Assim, para um nível de herdabilidade individual ao redor de 0,30, $\hat{c}^2 \leq 0,10$ podem ser classificados como baixos e $\hat{c}^2 > 0,10$ podem ser classificados como altos, permitindo, assim, alguma inferência sobre a variabilidade espacial dentro dos blocos.

O parâmetro ρ_g é útil na inferência sobre a interação materiais genéticos x blocos, revelando que tanto menor é a interação quanto maior for ρ_g . Por extensão, tal parâmetro permite inferir também sobre a interação genótipo x ambiente dentro do próprio sítio ou fazenda de plantio. Imaginando-se que toda a área de plantio em uma fazenda comporta um grande número de blocos diferentes ($b \rightarrow \infty$), o interesse do melhorista é indagar sobre a capacidade da média de um genótipo sobre os b blocos do experimento, correlacionar-se com a média dos mesmos genótipos sobre os $b \rightarrow \infty$ blocos ou seja com o valor genotípico real do indivíduo.

Esta correlação é dada por $r_{gg\infty} = [r_{ggd}]^{1/2} = \left[\frac{b r_g}{1 + (b-1) r_g} \right]^{1/2}$ em que r_{ggd} é a corre-

lação genética dos materiais genéticos dentro de um sítio ou local e equivale a

$$\hat{r}_{ggd} = \frac{b\hat{r}_g}{1 + (b-1)\hat{r}_g} = 0,96517 \quad \text{no presente caso. Em realidade, } r_{ggd} \text{ é um coeficiente de determinação da média dos materiais genéticos através dos blocos e pode ser usado no cômputo do ganho genético com a seleção em um local, através da expressão: } G_s = d_s r_{ggd} h_{mp}^2$$

$$= K r_{ggd} h_{mp}^2 S_{Fm}$$

A acurácia seletiva, no caso, é dada por $r_{gg} = [r_{ggd} h_{mp}^2]^{1/2}$

No presente exemplo, selecionando-se 10% ($k = 1,755$) das progênies, tem-se:

$$S_{Fm}^2 = \frac{Q_2}{nb} = \frac{166,5492}{60} = 2,59252$$

$$h_{mc}^2 = 1 - (1/F) = 1 - (1/12,2835) = 0,9186$$

$$\hat{G}_{snc} = 1,755 \cdot 0,9186 \cdot (2,7758)^{1/2} = 2,68595$$

$\hat{G}_{snc} = 1,755 \cdot 0,9186 \cdot (2,7758)^{1/2} = 2,68595$: estimativa do ganho genético não corrigido para a perda devida à interação genótipo x ambiente;

$\hat{G}_{sc} = 1,755 \cdot 0,9652 \cdot 0,9186 \cdot (2,7758)^{1/2} = 2,59252$: estimativa do ganho genético corrigido para a perda devida à interação genótipo x ambiente;

$\hat{r}_{gg} = [0,96517 \cdot 0,9186]^{1/2} = 0,9416$: estimativa da acurácia seletiva.

Assim, o ganho corrigido equivale a 96,52% do ganho não corrigido e reflete a perda devida à interação genótipo x ambiente dentro de locais.

Para seringueira, Simmonds (1989) relata que a produção dos clones em plantios comerciais é sempre inferior a produção dos mesmos nos ensaios. Este fato pode ser atribuído à perdas devidas à interação genótipo x ambiente.

Em resumo, previamente à realização de análises espaciais, deve-se verificar a existência ou não de uma estrutura de dependência espacial nos experimentos, ou seja, deve-se diagnosticar a presença de variabilidade espacial. E isto pode ser verificado de maneira simples com base nos parâmetros c^2 e r_g . Valores

altos de c^2 indicam alta variabilidade entre parcelas dentro de blocos e alta correlação ambiental entre observações dentro de parcela. Por sua vez, valores baixos de r_g indicam que os tratamentos são ordenados diferentemente de um bloco para outro, fato que pode ser devido a um gradiente de fertilidade, segundo Eisenberg et al. (1996).

4. CONCLUSÕES

A capacidade do teste foi adequada e o delineamento em blocos ao acaso foi eficiente, com grande homogeneidade ambiental dentro dos blocos, consistindo na situação ideal ao melhorista. A interação progênies x blocos acusou uma perda de 3,48% no ganho genético do peso de massa foliar em relação àquele não corrigido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

EISENBERG, B. E.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W.; KILIAN, W. Spatial analyses of field experiments: fertilizer experiments with wheat (*Triticum aestivum*) and tea (*Camelia simensis*). In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype by environment interation**. Boca raton: CRC Press, 1996. p. 373-404.

RESENDE, M. D. V. de. **Software SELEGEN – REM/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 67 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 77).

RESENDE, M. D. V. de; STURION, J. A. **Análise genética de dados como dependência espacial e temporal no melhoramento de plantas perenes via modelos geoestatísticos e de séries temporais empregando REML/BLUP ao nível de individual**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 80 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 65).

SIMMONDS, N. W. Rubber breeding. In: WEBSTER, C. C.; BAULKWILL, W. J.(Ed.). **Rubber**. New York: Longman, 1989. p. 85-124.