

INTERAÇÃO GENÓTIPO E AMBIENTE EM *Pinus elliottii* NO SUL DO BRASIL

(Genotype and environment interaction in *Pinus elliottii* in Southern Brazil)

Jarbas Y. Shimizu*

RESUMO

Em cinco locais no sul do Brasil, foram instalados testes genéticos com setenta e duas famílias de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* de polinização livre, com o objetivo de verificar a ocorrência de interações genótipo e ambiente e também para avaliar a eficiência das seleções em diferentes locais, na obtenção de ganhos genéticos. Entre os locais (Colombo, PR, Telêmaco Borba, PR, Cidreira, RS, Itapetininga, SP e Itararé, SP), Itapetininga constituiu um caso extremo, não apresentando correlação ambiental com os demais locais. As correlações mais altas foram verificadas entre Colombo e Telêmaco Borba. Em geral, as estimativas de ganhos genéticos, tanto em altura como em diâmetro, foram maiores no mesmo local de seleção. As exceções foram para Colombo, onde maiores ganhos genéticos, tanto em altura como em diâmetro, foram estimados mediante seleções em Telêmaco Borba e Itararé; o maior ganho genético para crescimento em diâmetro, em Cidreira, foi estimado mediante seleção em Itararé.

PALAVRAS-CHAVE: interação genótipo e ambiente, *Pinus elliottii*.

ABSTRACT

Seventy-two open pollinated families of *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* were tested in five locations in southern Brazil. The objectives were to estimate G&E interactions and to assess the efficiency of indirect selections in terms of genetic gains in height and diameter growth in each location through selections in others. Among the locations (Colombo, PR, Telêmaco Borba, PR, Cidreira, RS, Itapetininga, SP, and Itararé, SP), Itapetininga had no apparent environmental correlation with any other locations. The highest correlation was detected between Colombo and Telêmaco Borba. The estimates of genetic gain were, in general, higher in the same locations of selection. The exceptions were in Colombo where gains would be higher if families were selected in either Telêmaco Borba or Itararé; the latter was also the selection site which would produce the highest estimate of genetic gain in diameter growth at Cidreira.

KEY-WORDS: genotype and environment interaction, *Pinus elliottii*.

1. INTRODUÇÃO

Como resultado imediato da instituição da lei dos incentivos fiscais para reflorestamento no Brasil, houve um rápido incremento na área reflorestada com *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*, na Região Sul. Diversas empresas florestais, assim como instituições governamentais detêm, hoje, áreas substanciais plantadas com essa espécie. Esse patrimônio oferece uma importante oportunidade para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético através de seleções, testes de progênie e produção de semente melhorada.

* Eng. Florestal, Ph.D., pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

As regiões bioclimáticas, consideradas propícias ao cultivo dessa espécie, abrangem uma diversidade de condições ecológicas, tanto no Paraná (EMPRESA BRASILEIRA. . 1986), como nos demais estados da região. Em tais circunstâncias, há uma grande probabilidade de que o material, geneticamente superior em um local, não apresente as mesmas qualidades em outros.

Estimativas de interações genótipo e ambiente em *P. elliotii*, nos Estados Unidos da América do Norte, têm sido acentuadas para as características de crescimento, em geral, mas fracas em outras (SQUILLACE 1969). Entretanto, as magnitudes dessas estimativas dependem das características específicas dos locais envolvidos em cada investigação e, também, aparentemente, da idade das árvores. Portanto, é importante que se conheça a magnitude desse efeito dentro das regiões bioclimáticas indicadas para o cultivo dessa espécie.

Este estudo teve como objetivo a avaliação da interação genótipo e ambiente em *P. elliotii* no sul do Brasil, a fim de fornecer subsídios para o estabelecimento de programas de melhoramento genético dessa espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As matrizes incluídas neste estudo fazem parte de um grupo de árvores selecionadas, fenotipicamente, pelo vigor, forma de fuste e hábitos de ramificação, em plantios comerciais com idades variando de 15 a 20 anos, localizados na Floresta Nacional de Capão Bonito (IBDF) e na Estação Experimental de Itapetininga (dependência do Instituto Florestal de São Paulo). As mudas, obtidas a partir de sementes oriundas de polinização livre, foram produzidas no viveiro do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, em Colombo, PR, e transportadas para os locais de instalação dos ensaios.

Cinco locais foram escolhidos para a implantação dos ensaios, tendo-se procurado abranger as mais diversas condições ecológicas, dentro da região potencial para o desenvolvimento da espécie. As características de cada local de plantio dos ensaios estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Características dos locais dos ensaios.
(characteristics of the test sites)

LOCAIS	LATIT. (S)	LONGIT. (W)	ALTIT. (m)	PRECIP. MED. ANUAL (mm)	TEMP. MED. (°C)*
Colombo, PR	25°20'	40°14'	920	1413	7,9--26,3
T. Borba, PR	24°14'	50°35'	760	1421	14,5--23,5
Cidreira, RS	29°56'	50°30'	3	1246	16--23
Itapetininga, SP	23°42'	47°57'	645	1217	15,3--23,3
Itararé, SP	24°07'	49°20'	1000	1300	18--22

* temperaturas médias do mês mais frio e do mês mais quente.

O delineamento experimental utilizado foi o lattice retangular, com 72 progênies em parcelas lineares de dez plantas, dispostas em nove blocos incompletos, com três repetições. Para efeito de simplicidade de cálculos, a presente avaliação foi feita

seguindo-se o modelo de análise do delineamento em blocos completos casualizados com três repetições por local.

Aos quatro anos de idade, foram medidas as alturas e os diâmetros (DAP) para a análise do crescimento das progênies. Uma análise prévia, englobando todos os locais em conjunto, revelou uma alta heterogeneidade de variância residual entre locais. Como os locais, neste modelo de análise, representam efeitos fixos, as variações nas expressões das diferenças genéticas podem ocorrer em função dos efeitos de escala. Nesse caso, a análise de variância poderá acusar efeitos significativos da interação genótipo e ambiente, mesmo quando eles são falsos (BURDON 1977). Somente as verdadeiras interações genótipo e ambiente, aquelas que alteram a hierarquia das famílias entre os ambientes, constituem um fundamento para a discriminação dos locais, para fins de desenvolvimento de programas de melhoramento genético.

Para contornar esse problema, BURDON (1977) propôs o uso de correlações simples das médias das famílias entre pares de locais, como meio de estimar a magnitude da interação genótipo e ambiente. Isto baseou-se no conceito proposto por FALCONER (1982) de que, as mesmas características, avaliadas em ambientes diferentes, podem ser consideradas como características diferentes avaliadas no mesmo ambiente, para fins de análise e de definição do ambiente mais adequado para a seleção dos genótipos.

A correlação genética entre locais é estimada pela fórmula:

$$r_{gxy} = \text{Cov}_{gxy} / \sqrt{V_{gx} V_{gy}}$$

onde:

r_{gxy} = correlação genética entre os locais x e y;

Cov_{gxy} = covariância genética entre os locais x e y;

V_{gx} = variância genética no local x;

V_{gy} = variância genética no local y.

No caso de famílias de meio-irmãos, Cov_{gxy} estima $1/4 (\text{Cov}_{a_{xy}})$ (i.e. covariância genética aditiva entre os locais x e y), assim como V_{gx} e V_{gy} estimam $1/4(V_{a_x})$ e $1/4 (V_{a_y})$, respectivamente.

Portanto, $r_{gx y} = r_{a_x y}$.

Tendo-se em mãos as estimativas dos componentes da variância por local, $r_{gx y}$ pode ser estimada através de uma fórmula alternativa (BURDON 1977), que dispensa os cálculos das somas dos produtos das médias das famílias entre pares de locais. Assim,

$$r_{gx y} = r_{x y} / \sqrt{h_x^2 h_y^2}$$

onde:

$r_{x y}$ = correlação entre as médias das famílias nos locais x e y;

h^2 = $V_g/V_{\bar{p}}$ = herdabilidade (ou repetibilidade) das médias das famílias;

V_g = variância genética das médias das famílias;

$V_{\bar{p}}$ = variância das médias das famílias;

h_x^2 e h_y^2 = herdabilidade das médias das famílias nos locais x e y, respectivamente.

A magnitude da correlação simples entre locais permite estimar o grau de interação genótipo e ambiente. Correlações altas indicam uma consistência na hierarquia das famílias e, portanto, a ausência de interação genótipo e ambiente entre os locais considerados. Correlações baixas indicam a inconsistência na hierarquia entre as famílias, quando comparadas, entre si, em diferentes locais, sugerindo que os materiais genéticos devem ser selecionados, especificamente, para cada local.

Além de permitir a avaliação da interação genótipo e ambiente, livre das possíveis interferências causadas pela heterogeneidade das variâncias residuais e eventuais problemas de desequilíbrio no delineamento experimental, devido à mortalidade das plantas, as estimativas de correlação genética permitem avaliar os ganhos genéticos possíveis em um local (y) através de seleções no outro (x).

A resposta correlacionada pode ser estimada pela fórmula (FALCONER 1982):

$$RC_{y \ x} = i h_x h_y r_{axy} \sigma_{Py}$$

onde:

$RC_{y \ x}$ = ganho genético no local y, mediante seleção no local x;

i = intensidade de seleção no local x;

h_x e h_y = raízes quadradas das herdabilidades nos locais x e y, respectivamente;

r_{axy} = correlação genética entre os locais x e y;

$\sigma_{Py} = \sqrt{V_g + V_e/n}$ = desvio padrão fenotípico no local y;

V_g = variância genética

V_e = variância ambiental

n = número de repetições.

O ganho genético refere-se ao que as progênies das famílias selecionadas, em cada local, produziriam. A expressão desse ganho deve ser multiplicada por dois, pelo fato de ambos os pais terem sido selecionados. Portanto, o ganho genético correlacionado será estimado por:

$$RC_{y \ x} = 2i h_x h_y r_{axy} \sigma_{Py}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações lineares simples das médias das famílias entre pares de locais foram, em geral, baixas (Tabela 2), o que indica a existência de interações genótipo e ambiente. Isto demonstra que os méritos relativos das famílias diferem de um local para outro, principalmente, entre locais com características ambientais distintas.

As maiores correlações, tanto para a altura como para o diâmetro, foram observadas entre Colombo e Telêmaco Borba. Isto indica uma semelhança ambiental mais acentuada entre esses locais, do que entre outros. Entretanto, somente 38% e 42% da variação em altura e diâmetro, respectivamente, em um

local, poderiam ser explicadas pela função linear dessas variáveis no outro. Portanto, pode-se considerar que as características particulares de cada ambiente de uma forma geral, foram decisivas na expressão do valor genético das famílias.

TABELA 2. Correlações lineares simples das médias das famílias entre pares de locais de ensaio (n= 72).
(linear correlations of family means between pairs of locations).

CORRELAÇÕES ENTRE LOCAIS a/	CARACTERES	
	ALTURA	DIÂMETRO
r _{1,2}	0,62 **	0,65 **
r _{1,3}	0,38 **	0,34 **
r _{1,4}	0,20	0,05
r _{1,5}	0,51 **	0,51 **
r _{2,3}	0,34 **	0,31*
r _{2,4}	0,06	0,11
r _{2,5}	0,46 **	0,52 **
r _{3,4}	-0,06	0,06
r _{3,5}	0,39 *	0,41 **
r _{4,5}	-0,04	-0,08

a/ 1 = Colombo; 2 = Telêmaco Borba; 3 = Cidreira; 4 = Itapetininga; 5 = Itararé.

* = correlação significativa ao nível de 5%;

** = correlação significativa ao nível de 1%.

Em uma escala decrescente de semelhança entre pares de locais, pela altura das árvores, estariam Colombo-Telêmaco Borba, que têm em comum uma alta precipitação (mais de 1400mm ao ano), seguidas por Colombo-Itararé e Telêmaco Borba-Itararé. As similaridades entre estas últimas podem ser, tentativamente, atribuídas à relativa proximidade geográfica entre Itararé e Telêmaco Borba e também à maior altitude no local do ensaio em Itararé, a qual torna as condições climáticas desse local relativamente semelhantes às de Colombo.

Itapetininga destacou-se por ser o local mais setentrional e com menor precipitação (1217mm ao ano) entre os testados. Estes fatores podem ter levado a uma diferenciação deste local, em relação aos demais envolvidos neste estudo. Nenhuma das correlações entre locais, envolvendo Itapetininga, foi estatisticamente significativa.

Apesar de se localizar no extremo sul, entre os locais de ensaio, Cidreira ainda manteve um certo grau de semelhança com os demais locais, exceto Itapetininga. Uma possível explicação para esse padrão de comportamento é a localização do ensaio próximo ao nível do mar, em Cidreira. Isto pode ter compensado as diferenças que poderiam existir, entre Cidreira e os demais locais, em função das diferenças em latitude.

As estimativas de ganhos genéticos correlacionados permitem avaliar um local (x) como ambiente para seleção, visando a obtenção de ganhos genéticos em um outro (y). A Tabela 3 mostra os ganhos genéticos diretos e indiretos possíveis, por unidade de intensidade de seleção. A Tabela 4 mostra esses valores, referentes ao crescimento diamétrico.

TABELA 3. Estimativas de ganhos genéticos diretos (na diagonal) e correlacionados (fora da diagonal) em altura, para o local "y", mediante seleção no local "x" por unidade de intensidade de seleção.
(estimates of direct (diagonal) and correlated (off diagonal) genetic gain in height per unity of selection intensity).

GANHOS EM (y)	LOCAIS DE SELEÇÃO				
	Colombo	T. Borba	Cidreira	Itapetininga	Itararé
Colombo	0,22	0,25	0,17	0,09	0,23
T. Borba	0,32	0,37	0,19	0,03	0,26
Cidreira	0,24	0,22	0,26	-0,04	0,19
Itapetininga	0,10	0,03	-0,03	0,15	-0,02
Itararé	0,29	0,26	0,17	-0,02	0,30

TABELA 4. Estimativas de ganhos genéticos diretos (na diagonal) e correlacionados (fora da diagonal), em diâmetro, para o local "y" mediante seleção no local "x" por unidade de intensidade de seleção.
(estimates of direct (diagonal) and correlated (off diagonal) genetic gain diameter per unity of selection intensity).

GANHOS EM (y)	LOCAIS DE SELEÇÃO				
	Colombo	T. Borba	Cidreira	Itapetininga	Itararé
Colombo	0,42	0,52	0,35	0,05	0,50
T. Borba	0,64	0,80	0,39	0,14	0,65
Cidreira	0,54	0,50	0,64	0,10	0,66
Itapetininga	0,05	0,12	0,06	0,30	-0,08
Itararé	0,72	0,74	0,58	-0,11	0,83

O maior ganho genético, para a altura, no mesmo local de seleção, foi estimado para Telêmaco Borba. Isto resultou do maior controle genético da variância nesse local do que nos demais. As estimativas de ganho genético, para esse carácter, foram, em geral, maiores para o mesmo local de seleção, com exceção de Colombo. Para este local, os ganhos seriam maiores com o uso de famílias selecionadas em Telêmaco Borba (ganho genético 14% maiores do que com seleção no próprio local) e em Itararé (ganho 5% maior do que com seleção no local). Isto resultou, principalmente, devido a um certo grau de semelhança, entre as condições ambientais de Colombo e esses dois locais, e às maiores estimativas de herdabilidade obtidas nesses locais.

As variâncias genéticas estimadas para o crescimento em diâmetro foram, em geral, mais acentuadas, mostrando maior sensibilidade à seleção, do que para o crescimento em altura. Isto resultou, aparentemente, de maior precisão das

medições diamétricas e do baixo erro experimental, possibilitados pelas baixas taxas de mortalidade em todos os ensaios.

As estimativas de ganhos genéticos diretos (i.e. no mesmo local de seleção) em diâmetro foram, também, em geral, maiores do que os ganhos correlacionados. As exceções foram observadas para Colombo e Cidreira. Estimativas de ganhos genéticos em diâmetro para Colombo foram maiores com o uso de famílias selecionadas em Telêmaco Borba e Itararé, com superioridade de 24% e 19%, respectivamente, do que com o uso de famílias selecionadas no próprio local. Em Cidreira, foram estimados ganhos genéticos, em diâmetro, 3% maiores com o uso de famílias selecionadas em Itararé, do que com o uso de famílias selecionadas no local.

4. CONCLUSÕES

A constatação de interações genótipo e ambiente demonstrou a necessidade de definir-se os locais mais adequados à seleção de famílias de *P. elliotii* para assegurar o maior ganho genético possível.

A diversidade de características ambientais, entre os locais de ensaio, principalmente em relação às temperaturas, precipitações e, provavelmente, tipos de solo, refletiram diretamente na variância genética, tanto em altura como em diâmetro.

Telêmaco Borba reúne as condições ambientais mais propícias para a diferenciação genética entre famílias, enquanto que Itapetininga constitui um local menos favorável para essa finalidade.

Maiores ganhos genéticos em Colombo, obtidos tanto em altura como em diâmetro, em *P. elliotii*, podem ser obtidos usando-se famílias selecionadas em Telêmaco Borba e Itararé. Em Cidreira, os maiores ganhos genéticos em diâmetro podem ser obtidos usando-se famílias selecionadas em Itararé. Nos demais casos, os maiores ganhos genéticos podem ser obtidos utilizando-se famílias selecionadas nos próprios locais.

5. REFERÊNCIAS

- BURDON, R.D. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genetica*, **26** (5/6): 168-175, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, PR. *Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná*. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986.
- FALCONER, D.S. *Introduction to quantitative genetics*. 2.ed. New York, Longman, 1982. 340p.
- SQUILLACE, A.E. Genotype x environment interaction in forest trees. In: Proc. Second Meeting, working Group on Quantitative Genetics, Raleigh, N.C. Aug. 1969.