

**PARÂMETROS GENÉTICOS E GANHOS NA SELEÇÃO
PARA PRODUÇÃO DE RESINA EM *Pinus elliottii* var. *elliottii*,
NO SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO***

Reinaldo Cardinali ROMANELLI**
Alexandre Magno SEBBENN**

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina, em *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*, aos 4 e 12 anos de idade, respectivamente, em três locais do sul do Estado de São Paulo. Progenies de polinização aberta de 90 árvores fenotipicamente superiores de *P. elliottii* var. *elliottii*, selecionadas para produção de resina, em população comercial, em Itapetininga, SP, foram ensaiadas na Floresta Estadual de Angatuba e Estações Experimentais de Itapetininga e Itapeva, empregando-se 90 tratamentos (progênies), três repetições, 10 árvores por parcela e uma testemunha comercial de *P. elliottii* var. *elliottii* e outra de *P. caribaea* Mor. var. *bahamensis* Bar. et Gol. Foram detectadas diferenças genéticas significativas entre progênies para produção de resina em Itapetininga, Itapeva e na análise conjunta para locais, indicando a possibilidade de ganhos na seleção. A interação genótipo x ambiente para produção de resina aos 12 anos de idade foi significativa ($\alpha = 0,05$) e do tipo complexa, sugerindo que a melhor estratégia de seleção é a de multipopulações. A produção de resina, aos 12 anos de idade, nas progênies de *P. elliottii* var. *elliottii*, superaram as testemunhas comerciais. O coeficiente de variação genética e as herdabilidades mostraram a possibilidade de ganhos moderados com a seleção para a produção de resina. A correlação genética entre DAP e produção de resina foi baixa, mas positiva. As correlações genéticas entre as idades de 4 e 12 anos foram altas ($r_g \geq 0,55$) mostrando a possibilidade de seleção em idades precoces. Os ganhos esperados na seleção para produção de resina variaram de baixos (1,6%) a altos (29,2%) entre locais.

Palavras-chave: melhoramento florestal; *Pinus*; interação genótipo x ambiente; teste de progênies; produção de resina.

ABSTRACT

The aims of this work were to estimate the genetic parameters and selection gains of oleoresin production in *Pinus elliottii* var. *elliottii*, at 4 and 12 years old, respectively, on three sites of the south of São Paulo State, Brazil. Open-pollinated families of 90 *P. elliottii* var. *elliottii* trees were selected to oleoresin production, on commercial stands, in Itapetininga, SP. The experiments were assayed in Angatuba State Forest, Itapetininga and Itapeva Experimental Stations using three blocks, 10 plants per plot, and a commercial control of *P. elliottii* var. *elliottii* and *P. caribaea* var. *bahamensis*. Significant differences among families to oleoresin production were detected in both Experimental Stations and joint analysis, indicating the possibility of genetic gains through selection. The site x genotype interactions were significant to oleoresin production at 12 years ($\alpha = 0.05$), suggesting that multipopulation strategy as more recommended for selection. The oleoresin production in progenies of *P. elliottii* var. *elliottii* at 12 years old, overcomes the controls in three sites. The coefficients of genetic variation and heritability showed the possibility to have genetic gains through selection to oleoresin productions. The genetic correlations between DBH and oleoresin production were positive and low. The genetic correlation among 4 and 12 years old was high ($r_g \geq 0.55$) suggesting the possibility to undertaken selection in young trees. The estimation of genetic gains to oleoresin productions varied from low (1.6%) to high (29.2%) among sites.

Key words: tree breeding; *Pinus*; genotype x environmental interaction; progeny test; oleoresin production.

(*) Aceito para publicação em fevereiro de 2004.

(**) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

(***) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: amsebbenn@bol.com.br

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de breu, a partir de goma resina de *Pinus* spp., embora responda por apenas 7% da produção total, o que corresponde a 56 milhões de toneladas/ano. Dessa produção, o Estado de São Paulo é responsável por 65% (Associação dos Resinadores do Brasil - ARESB, 2001), sendo que 18% das áreas exploradas são de propriedade do Instituto Florestal de São Paulo - IF.

O IF vem, desde a década de 1960, plantando espécies do gênero *Pinus* em escala comercial. A principal espécie é o *Pinus elliottii* var. *elliottii*, que se adaptou bem às regiões altas e frias do Sul do Brasil, devido às semelhanças edafo-climáticas com as regiões de origem (Romanelli, 1988). Essa espécie é originária da América do Norte e sua área natural de ocorrência se estende desde a Planície Costeira do sul do Estado da Carolina do Sul, 33° de latitude N, até a Flórida Central e sudoeste do Estado de Louisiana, a 30° de latitude N (Dorman & Squillace, 1974). Apesar de sua ampla distribuição geográfica, testes de procedências realizados no Brasil não detectaram variação genética entre as diferentes origens das sementes, para caracteres de crescimento (Fonseca *et al.*, 1978; Araújo, 1980). Por outro lado, estudos têm detectado alta variação genética entre progênies para caracteres de crescimento e produção de resina (Barret, 1963; Barret & Bengtson, 1964; Squillace, 1965; Squillace & Gansel, 1968; Romanelli, 1988; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993; Gurgel Garrido *et al.*, 1999). Estimativas de parâmetros genéticos em testes de progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* têm revelado que o caráter produção de resina apresenta alta herdabilidade e coeficiente de variação genética, o que tem proporcionado ganhos na seleção de até 60% (Romanelli, 1995; Gurgel Garrido *et al.*, 1999).

Análises de correlações genéticas entre caracteres de crescimento e produção de resina, em *P. elliottii* var. *elliottii*, têm mostrado fraca associação, com valores baixos e inferiores a 0,4 (Romanelli, 1988, 1995; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993). A baixa associação entre caracteres de crescimento e produção de resina indica que a seleção deve ser conduzida para o caráter produção de resina, a fim de maximizar os ganhos na seleção. Contudo, estimativas de correlações para produção de resina entre diferentes idades revelaram valores altos e significativos ($r > 0,77$) o que sugere que a repetibilidade do caráter é alta e existe a possibilidade de sucesso com a seleção precoce (Gurgel Garrido *et al.*, 1994).

O Programa de Melhoramento Genético de *P. elliottii* var. *elliottii* para produção de resina, no IF, vem se desenvolvendo na região sul do Estado de São Paulo. Essa região apresenta uma grande variedade de tipos de solos, climas e altitudes e, possivelmente, essa diversidade de ambientes produza interação genótipo x ambiente e interfira na qualidade das sementes produzidas, como já foi detectado em outros estudos (Gurgel Garrido *et al.*, 1999).

O objetivo deste trabalho foi a seleção de genótipos superiores para produção de resina para a região sul do Estado de São Paulo. Para isso, foram coletadas progênies de polinização aberta em 90 árvores superiores, selecionadas para produção de resina, em Itapetininga, SP, e instalados testes de progênies na Floresta Estadual de Angatuba e Estações Experimentais de Itapetininga e Itapeva. Foram estudados: *i*) os efeitos da interação genótipo x ambiente; *ii*) o controle genético dos caracteres; *iii*) a correlação genética entre caracteres de crescimento e produção de resina; *iv*) a correlação genética entre diferentes idades, e *v*) os progressos esperados na seleção para produção de resina.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Amostragem, Locais de Experimentação e Delineamento Experimental

Sementes de polinização aberta foram coletadas em 1988 de 90 árvores selecionadas para a produção de resina, em plantio comercial de *P. elliottii* var. *elliottii*, na Estação Experimental de Itapetininga. As características geográficas desse local se encontram na TABELA 1. O teste de progênies foi implantado em três locais da região sul do Estado de São Paulo: Floresta Estadual de Angatuba, Estação Experimental de Itapetininga e Estação Experimental de Itapeva. Empregou-se o delineamento de blocos casualizados em esquema de látice com três repetições, 90 tratamentos (progênies) e 10 plantas por parcela, no espaçamento 3,0 x 3,0 m. Como controle foram usadas duas testemunhas comerciais: uma de *P. elliottii* var. *elliottii*, procedente de Itapetininga, SP, e outra de *P. caribaea* var. *bahamensis*, procedente de Assis, SP. As testemunhas foram plantadas ao lado do experimento, utilizando-se três linhas de cada espécie. O ensaio foi mensurado aos 4 e 12 anos de idade para diâmetro à altura do peito (DAP, 1,3 m) e produção de resina. Aos 4 anos a produção de resina foi avaliada por microresinagem e aos 12 anos por resinagem comercial.

TABELA 1 – Características geográficas dos locais de experimentação e seleção.

Local	Lat. (S)	Long. (W)	Alt. (m)	Tm (°C)	TM (°C)	Clima	Prec. (mm)	DH (mm)	Solo
Angatuba	23°29'	48°25'	800	14,1	21,0	Cfb	1,190	0	RPV-RLV
Itapetininga	23°42'	47°57'	650	15,4	22,5	Cwa	1,128	5	PVLs
Itapeva	24°02'	49°06'	730	14,6	22,3	Cfb	1,247	0	LV

Fonte: Veiga, 1975.

Onde: Lat. = Latitude; Long. = Longitude; Alt. = Altitude; Tm = Temperatura mínima média mensal; TM = Temperatura máxima média mensal; Prec. = precipitação média anual; DH = déficit hídrico; PVLs = Podzólico vermelho amarelo, e LV = Latossolo vermelho amarelo.

2.2 Estimativa de Componentes de Variância

As análises de variância preliminares, com base no delineamento látice, mostraram baixa eficiência para o delineamento (< 110%). Neste caso é mais apropriado analisar o ensaio em blocos casualizados (Hallauer & Miranda Filho, 1988).

A análise de variância, em blocos casualizados, para cada local, foi realizada pelo modelo linear,

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + b_j + e_{ij} + d_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} = performance média do k -ésimo indivíduo, do j -ésimo bloco, da i -ésima progênie; μ = média geral da variável em análise; t_i = efeito da i -ésima progênie ($i = 1, 2, \dots, I$); b_j = efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, J$); e_{ij} = efeito da interação entre a i -ésima progênie do j -ésimo bloco ou, efeito ambiental da ij -ésima parcela; d_{ijk} = efeito da k -ésima árvore dentro da ij -ésima parcela. Todos os efeitos do modelo foram assumidos como aleatórios. Sendo, K o número de árvores por progênie, J o número de blocos, I o número de progênie, e \bar{n} é a média harmônica do número de árvores por parcela.

Para a análise conjunta dos locais foi utilizado um modelo linear misto:

$$Y_{ijkl} = \mu + t_i + l_k + b_{j/k} + (tl)_{ik} + e_{ij(k)} + d_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl} = performance média do l -ésimo indivíduo, no k -ésimo local, no j -ésimo bloco da i -ésima progênie; t_i = efeito da i -ésima progênie ($i = 1, 2, \dots, I$); l_k = efeito fixo do k -ésimo local ($k = 1, 2, \dots, K$); $b_{j/k}$ = efeito do j -ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, J$) dentro do k -ésimo local; $(tl)_{ik}$ = efeito da interação entre a i -ésima progênie e o k -ésimo local; $e_{ij(k)}$ = efeito da interação entre a i -ésima progênie e o j -ésimo bloco dentro do k -ésimo local; d_{ijkl} = efeito da l -ésima árvore dentro da ij -ésima parcela, no k -ésimo local. O efeito de locais foi assumido como fixo e os demais como aleatórios. Sendo, L o número de árvores por progênie, K o número de locais, J o número de blocos, I o número de progênie, e \bar{n} = média harmônica do número de árvores por parcela. As análises de variância foram feitas com auxílio do programa SAS (S.A.S., 1999), utilizando-se os procedimentos GLM e VARCOMP (componentes da variância).

Das análises de variância foram estimados os componentes: $\hat{\sigma}_g^2$ = variância genética entre progênie; $\hat{\sigma}_e^2$ = variância devido à interação entre progênie e repetições; $\hat{\sigma}_{gxe}^2$ = variância da interação entre progênie e locais; $\hat{\sigma}_F^2$ = variância fenotípica total; $\hat{\sigma}_A^2$ = variância genética aditiva entre progênie; $\hat{\sigma}_d^2$ = variância devido a diferenças fenotípicas entre árvores dentro de parcelas.

2.3 Estimativa de Herdabilidades e Coeficiente de Variação Genética

As definições e cálculos dos coeficientes de herdabilidade, coeficientes de variação e medidas de correlações entre caracteres e idades seguem Namkoong (1979) e Resende & Higa (1994). Nesse trabalho assumiu-se que as progênies são aparentadas como meios-irmãos ($r_{xr} = 0,25$) e $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_{g_{xr}}^2 / r_{xr}$.

Herdabilidade individual por local (\hat{h}_i^2) e conjunto de locais ($\hat{h}_{i(k)}^2$)

$$\hat{h}_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2} \quad \hat{h}_{i(k)}^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_{gxl}^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2}$$

Herdabilidade entre progênies por local (\hat{h}_m^2) e conjunto de locais ($\hat{h}_{m(k)}^2$)

$$\hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{J} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}J}} \quad \hat{h}_{m(k)}^2 = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \frac{\hat{\sigma}_{gxl}^2}{L} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{LJ} + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}LJ}}$$

Herdabilidade dentro de progênies (\hat{h}_d^2) e herdabilidade de parcelas (\hat{h}_p^2)

$$\hat{h}_w^2 = \frac{(1 - r_{xy})\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2} \quad \hat{h}_p^2 = \frac{\left(\frac{1 - r_{xy}}{\bar{n}}\right)\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_e^2 + \frac{\hat{\sigma}_d^2}{\bar{n}}}$$

Coeficiente de variação genética (CV_g)

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\bar{x}} \times 100$$

Correlações fenotípicas e genéticas

As correlações fenotípicas e genéticas, entre os caracteres DAP e produção de resina, foram estimadas dos valores individuais de acordo com as equações:

$$\hat{r}_{P_{XY}} = \frac{\hat{\sigma}_{P_X P_Y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{P_X}^2 \hat{\sigma}_{P_Y}^2}} \quad \hat{r}_{g_{XY}} = \frac{\hat{\sigma}_{g_X g_Y}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{g_X}^2 \hat{\sigma}_{g_Y}^2}}$$

em que, $\hat{r}_{P_{XY}}$ e $\hat{r}_{g_{XY}}$ são os coeficientes de variação fenotípica e genética; $\sigma_{P_X P_Y}$ e $\sigma_{g_X g_Y}$ são os produtos cruzados fenotípicos e genéticos dos caracteres x e y , estimados das análises de covariância, e $\hat{\sigma}_{P_X}^2$, $\hat{\sigma}_{g_X}^2$ e $\hat{\sigma}_{P_Y}^2$, $\hat{\sigma}_{g_Y}^2$ são as variâncias fenotípicas e genéticas dos caracteres x e y , respectivamente.

Correlações fenotípicas e genéticas entre idades

Medidas de caracteres em diferentes idades foram consideradas como caracteres separados, e as correlações fenotípicas e genéticas entre os caracteres nas duas idades foram calculadas de dados individuais pelas seguintes equações:

$$\hat{r}_{P_{(4 \times 12)}} = \frac{\hat{\sigma}_{P_4 P_{12}}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{P_4}^2 \hat{\sigma}_{P_{12}}^2}} \quad \hat{r}_{g_{(4 \times 12)}} = \frac{\hat{\sigma}_{g_4 g_{12}}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{g_4}^2 \hat{\sigma}_{g_{12}}^2}}$$

em que, $\hat{r}_{P_{(4 \times 12)}}$ e $\hat{r}_{g_{(4 \times 12)}}$ são os coeficientes de correlação fenotípica e genética; $\sigma_{P_4 P_{12}}$ e $\sigma_{g_4 g_{12}}$ são os produtos cruzados fenotípicos e genéticos nas idades de 4 e 12 anos, e $\hat{\sigma}_{P_4}^2$, $\hat{\sigma}_{g_{12}}^2$ e $\hat{\sigma}_{P_{12}}^2$, $\hat{\sigma}_{g_4}^2$ são as variâncias fenotípicas e genéticas dos caracteres nas idades de 4 e 12 anos, respectivamente.

Resposta à seleção

A resposta esperada na seleção foi estimada para as intensidades de seleção de 33,3% das progênies (1:3) e 0,3% das árvores dentro das progênies (1:30), com base no índice de seleção multi-efeitos (Resende & Higa, 1994), apenas para locais individuais. O valor genético (\hat{I}) individual foi estimado por:

$$\hat{I} = \hat{h}_d^2 (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.}) + \hat{h}_f^2 (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + \hat{h}_p^2 (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})$$

em que: $\bar{Y}_{...}$ = efeito da média geral do caráter; $\bar{Y}_{i..}$ = média da i -ésima progênie no ensaio; $\bar{Y}_{.j.}$ = média do j -ésimo bloco; $\bar{Y}_{ij.}$ = média da i -ésima progênie no j -ésimo bloco; $(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..})$ = efeito do j -ésimo bloco; $(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})$ = efeito da i -ésima progênie; $(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})$ = efeito de parcela, relativo à i -ésima progênie no j -ésimo bloco, e $(Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})$ = efeito da k -ésima árvore da ij -ésima parcela.

A resposta esperada na seleção refere-se à média dos valores genéticos dos indivíduos selecionados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Sobrevivência e Variação Experimental

A sobrevivência foi alta, aos 12 anos de idade, em todos os locais (mínimo 90,3%) revelando boa adaptação das progênies aos locais de ensaio (TABELA 2). O coeficiente de variação experimental (CV_{exp}) foi baixo para DAP (< 10%), alto para produção de resina aos 4 anos (entre 22,6% a 30,6%) e baixo para produção de resina aos 12 anos (< 13%), indicando razoável precisão nas estimativas de variâncias e parâmetros afins (TABELA 2). A magnitude dos valores dos coeficientes CV_{exp} para produção de resina, aos 4 e 12 anos de idade, é semelhante àquela encontrada por Romanelli (1995), nas idades de 4 e 8 anos (25,1% e 10,5%, respectivamente), em teste de progênies de *P. elliottii* var. *elliottii*, em Itapetininga. A redução no CV_{exp} com o aumento na idade das árvores, sugere fortes efeitos ambientais sobre o caráter, em idades precoces, e/ou diferenças na precisão da microresinagem em relação a resinagem comercial.

3.2 Variação entre Progênies e Interação Genótipo x Ambiente

O teste F da análise da variância detectou diferenças significativas entre progênies para DAP (1%), aos 4 e 12 anos, nas análises individuais e conjunta para locais e para produção de resina em Itapetininga, aos 12 anos de idade, e para Itapeva e análise conjunta, aos 4 e 12 anos (TABELA 2), indicando a possibilidade de progressos genéticos com a seleção. A análise de variância conjunta para locais revelou interação genótipo x ambiente significativa para o caráter DAP, em ambas as idades, e para produção de resina, aos 12 anos de idade, demonstrando a influência do local de plantio sobre a performance dos caracteres (TABELA 2). Interações significativas para produção de resina, em *P. elliottii* var. *elliottii*, também foram observadas por Gurgel Garrido *et al.* (1999), aos 2 anos de idade, utilizando microresinagem.

A interação genótipo ambiente pode ser simples ou complexa. Interações simples implicam que as progênies apresentam diferentes performances perante os diferentes ambientes, mas sem grandes alterações na classificação de produtividade, a seleção pode ser efetuada em apenas um local e as sementes utilizadas para reflorestamentos em todos os locais avaliados. Interações complexas implicam que as progênies alteram sua classificação de produtividade nos diferentes ambientes, sendo necessária a seleção de genótipos específicos para cada ambiente. A relação entre a variância da interação genótipo x ambiente ($\hat{\sigma}_{gxl}^2$) e a variância genética entre progênies ($\hat{\sigma}_g^2$) permite calcular um índice crítico que distingue a interação simples da complexa (Shelbourne, 1972). Por esse índice, se a relação $\hat{\sigma}_{gxl}^2 / \hat{\sigma}_g^2$ for $\leq 0,5$, a interação aproximar-se-á do tipo simples, e se $\hat{\sigma}_{gxl}^2 / \hat{\sigma}_g^2$ for $\geq 0,5$, a interação é do tipo complexa. Esse índice foi usado em estudos da interação genótipo x ambiente por Matherson & Raymond (1984) e Pedrick (1990) em *Pinus radiata*. No presente trabalho, a relação $\hat{\sigma}_{gxl}^2 / \hat{\sigma}_g^2$ foi $> 0,5$ para ambos os caracteres (mínimo 0,64), nas duas idades de avaliação (TABELA 5), sugerindo que a interação é do tipo complexa e uma das estratégias de seleção indicada é a do tipo multipopulações.

TABELA 2 – Estimativas de quadrados médios para DAP e produção de resina, aos 4 e 12 anos, em progênies de *P. elliottii* var. *elliottii*, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Parâmetro	Local			Conjunta
	Angatuba	Itapetininga	Itapeva	
DAP - 4 anos				
QMprog.	0,7067**	1,3312**	0,5192**	1,2545**
QMprog. x local	–	–	–	0,6513**
QMresíduo	0,4056	0,4477	0,2593	0,3709
QMdentro	2,2880	2,3873	1,4242	2,0225
CV _{exp}	7,7%	6,7%	6,9%	7,1%
DAP - 12 anos				
QMprog.	1,9222**	2,8558**	2,8901**	3,5954**
QMprog. x local	–	–	–	2,0364**
QMresíduo	1,2990	1,2609	1,3221	1,2940
QMdentro	9,4672	8,7954	8,3967	8,9046
CV _{exp}	6,0%	5,7%	6,3%	6,0%
Resina - 4 anos				
QMprog.	37,6530	28,9867	46,8617**	43,9576*
QMprog. x local	–	–	–	29,7719
QMresíduo	23,4398	24,6944	29,7087	25,9476
QMdentro	116,6811	104,7740	172,5808	132,1010
CV _{exp}	25,5%	30,6%	22,6%	25,8%
Resina - 12 anos				
QMprog.	1,7661	2,8523**	2,8603**	3,2318**
QMprog. x local	–	–	–	1,9980*
QMresíduo	1,6339	1,6879	0,8551	1,5262
QMdentro	8,0736	9,6924	7,3877	8,4956
CV _{exp}	12,3%	12,3%	10,4%	12,5%
Sobrevivência	93,2%	90,3%	96,5%	93,3%

Sendo: QM = quadrado médio; prog. x local = interação genótipo ambiente, e CV_{exp} = coeficiente de variação experimental.

(*) $P \leq 0,05$.

(**) $P \leq 0,01$.

A estratégia de seleção em multipopulações (Namkoong *et al.*, 1988) tem maior custo para a produção de sementes melhoradas, visto que a seleção e coleta são feitas em mais de um local de ensaio. Por outro lado, mantém a base genética do programa mais ampla em relação à seleção em apenas um local. Essa estratégia permite que, futuramente, a base genética das subpopulações possa ser ampliada pela recombinação de material selecionado em diferentes locais. Se diferentes progênies são selecionadas em diferentes subpopulações, a recombinação entre subpopulações pode retardar o aumento do parentesco e da endogamia nas subdivisões e, conseqüentemente, reduzir no curto prazo a probabilidade de depressão endogâmica. *P. elliottii* var. *elliottii* é espécie predominantemente de cruzamento, $\hat{t} = 0,975$ (Squillace & Goddard, 1982) e sofre fortes reduções na performance dos caracteres de crescimento com o aumento da endogamia (Squillace & Kraus, 1971; Gansel, 1971; Matheson *et al.*, 1995). Portanto, é importante manter ampla a base genética do programa.

3.3 Crescimento e Produção de Resina

Os valores médios dos caracteres, aos 4 e 12 anos, para progênies e testemunhas de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *bahamensis* são apresentados na TABELA 3. O crescimento em DAP de *P. caribaea* var. *bahamensis* superou o crescimento de *P. elliottii* var. *elliottii* nas duas idades avaliadas e nos três locais de ensaio. As progênies e a testemunha de *P. elliottii* var. *elliottii* apresentaram praticamente a mesma taxa de crescimento em DAP. Por outro lado, para a produção de resina, as progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* superaram a testemunha da mesma espécie nas duas idades e em todos os locais de avaliação. Aos 12 anos de idade a produção de resina nas progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* superou a testemunha de *P. caribaea* var. *bahamensis* em 2,8%, 11,3% e 7,6%, e a testemunha de *P. elliottii* var. *elliottii* em 7,1%, 7,8% e 18,4% em Angatuba, Itapetininga e Itapeva, respectivamente. Em relação aos locais, aos 12 anos de idade, o crescimento em DAP e a produção de resina das progênies plantadas em Itapetininga superaram as de Angatuba em 3,5% e Itapeva em 15,9%, para o último caráter.

TABELA 3 – Crescimento médio em DAP e produção de resina, aos 4 e 12 anos de idade, em progênies de *P. elliottii* var. *elliottii* e testemunhas comerciais de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *bahamensis*, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Espécie	Material	DAP (cm)		Resina (g)	
		4 anos	12 anos	4 anos	12 anos
Angatuba					
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Progênies	8,3	18,8	18,9	3.214,2
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Testem.	8,0	19,3	14,3	2.985,1
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Testem.	9,8	24,2	19,3	3.124,0
Itapetininga					
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Progênies	9,9	19,7	16,2	3.343,1
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Testem.	10,3	20,2	13,2	3.082,4
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Testem.	13,4	26,5	18,4	2.963,9
Itapeva					
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Progênies	7,3	18,2	24,1	2.802,8
<i>P. elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	Testem.	7,2	17,8	14,6	2.286,4
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Testem.	9,7	24,3	20,0	2.589,9

3.4 Parâmetros Genéticos

A magnitude dos coeficientes de variação genética (CV_g) e dos coeficientes de herdabilidade, para o caráter produção de resina, foi razoável, mas menor do que os relatados em outros estudos (TABELA 4). Para produção de resina, o maior CV_g (9,2%) e as maiores herdabilidades (variação de 0,25 a 0,70) foram observados em Itapeva. Squillace & Bengtson (1961) encontraram herdabilidades em *P. elliottii* var. *elliottii* variando de 0,45 a 0,90, aos 7 anos de idade. Gurgel Garrido *et al.* (1986/1988) relataram CV_g de 15% e 16,5% e herdabilidades de 0,38 e 0,52, aos 2,5 e 3,5 anos, respectivamente. Romanelli (1988) obteve CV_g de 22,1% e 10,4% e herdabilidade de 0,47 e 0,54, aos 6 e 8 anos, respectivamente. Gurgel Garrido *et al.* (1994) estimaram coeficientes de variação genética variando de 6,6% a 15,4% e herdabilidades variando de 0,12 a 0,53, dos 3,5 aos 9,5 anos. Gurgel Garrido *et al.* (1999) observaram CV_g variando de 40,9% a 43,6% e herdabilidades variando de 0,57 a 0,77, aos 2 anos. Os menores coeficientes de variação genética e herdabilidade, observados aos 12 anos, podem estar relacionados à idade de avaliação e às características da população. O coeficiente de variação genética, em ambos os caracteres, foi reduzido entre as idades de 4 e 12 anos. As herdabilidades para o DAP também mostraram essa tendência.

Para a produção de resina, as herdabilidades foram reduzidas em Angatuba, mas aumentadas em Itapetininga, Itapeva e análise conjunta. Estudos do comportamento dos parâmetros genéticos para DAP e produção de resina em *P. elliottii* var. *elliottii* têm evidenciado que a variação genética e as herdabilidades tendem a diminuir com a maturidade das árvores (Gurgel Garrido & Kageyama, 1993; Gurgel Garrido *et al.*, 1994). A causa da redução tem sido atribuída a menor contribuição da variância genética para a variância fenotípica.

3.5 Correlações Fenotípicas e Genéticas

As estimativas das correlações fenotípicas e genéticas evidenciaram fracas associações entre DAP e produção de resina (TABELA 6), em concordância com outros estudos com *P. elliottii* var. *elliottii* que têm detectado correlações sempre inferiores a 0,5 (Romanelli, 1988, 1995; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993). As baixas correlações genéticas indicam que a seleção deve ser feita para o caráter produção de resina, tendo em vista seu maior peso no programa. Por outro lado, as correlações foram sempre positivas, indicando que a resposta à seleção no outro caráter será sempre positiva, ainda que pequena.

As correlações fenotípicas e genéticas entre as idades de 4 e 12 anos foram, em geral, altas e significativas para ambos os caracteres (TABELA 7). A menor correlação genética foi observada em Angatuba (0,55) e a maior em Itapetininga (0,94). Em *P. elliottii* var. *elliottii*, altas correlações genéticas para produção de resina também foram observadas entre as idades de 3,5 e 6,5 anos (0,78; Gurgel Garrido & Kageyama, 1993), 4 e 8 anos (0,9; Romanelli, 1995), 7,5 e 9,5 anos (> 0,77; Gurgel Garrido *et al.*, 1994) e 10 e 18 anos (0,88; Squillace & Gansel, 1974). Tais correlações indicam que árvores que apresentaram maior produção de resina, em idades precoces, tendem a repetir a performance em idades mais avançadas, sugerindo que o caráter apresenta repetibilidade e que existem possibilidades de sucesso com a seleção em idades precoces. Contudo, Franklin (1979) estudando o comportamento da altura em *Pseudotsuga menziensis* (Mirb.) Franco e *P. ponderosa* Law., e altura e volume em *P. taeda* L., observou que as correlações genéticas entre idades eram altas entre idades próximas, mas tendiam a diminuir entre idades distantes, assumindo, em muitos casos, valores negativos. Esses resultados levaram o autor a sugerir que a seleção em altura e volume, em coníferas crescendo em espaçamentos convencionais, não deveria anteceder a metade de idade de rotação. Portanto, no presente caso, a seleção não deve ser realizada antes de 4 a 5 anos para a produção de resina.

ROMANELLI, R. C.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no sul do Estado de São Paulo.

TABELA 4 – Estimativas dos coeficientes de variação genética e herdabilidades para DAP e produção de resina, aos 4 e 12 anos, em *P. elliottii* var. *elliottii*, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Variância	Angatuba		Itapetininga		Itapeva		Análise conjunto	
	4 anos	12 anos	4 anos	12 anos	4 anos	12 anos	4 anos	12 anos
CV_g	3,8%	2,4%	5,5%	3,7%	4,0%	3,8%	3,7%	2,6%
CV_g/CV_{exp}	0,49	0,40	0,83	0,65	0,58	0,60	0,52	0,43
\hat{h}_i^2	0,16	0,08	0,41	0,22	0,21	0,22	0,17	0,10
\hat{h}_m^2	0,42	0,33	0,67	0,57	0,50	0,54	0,57	0,53
\hat{h}_d^2	0,13	0,07	0,37	0,18	0,18	0,19	0,15	0,09
\hat{h}_p^2	0,03	0,02	0,07	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02
Resina								
CV_g	6,3%	2,1%	7,4%	5,9%	9,9%	9,2%	7,2%	4,4%
CV_g/CV_{exp}	0,25	0,17	0,24	0,48	0,44	0,88	0,28	0,35
\hat{h}_i^2	0,04	0,02	0,05	0,14	0,12	0,33	0,05	0,08
\hat{h}_m^2	0,15	0,07	0,15	0,42	0,36	0,70	0,38	0,46
\hat{h}_d^2	0,04	0,02	0,04	0,12	0,10	0,27	0,04	0,07
\hat{h}_p^2	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,08	0,01	0,01

TABELA 5 – Estimativas dos componentes de variância para DAP e produção de resina, aos 4 e 12 anos, em *P. elliottii* var. *elliottii*, na análise conjunta para locais do sul do Estado de São Paulo.

Parâmetros	DAP		Resina	
	4 anos	12 anos	4 anos	12 anos
$\hat{\sigma}_g^2$	0,0982	0,2557	2,0	1.8951,5
$\hat{\sigma}_e^2$	0,1541	0,3250	11,8	60.172,2
$\hat{\sigma}_d^2$	2,0225	8,9046	132,10	849.562,9
$\hat{\sigma}_{gxl}^2$	0,0935	0,2475	1,3	15.725,9

Onde: $\hat{\sigma}_g^2$ = variação genética entre progênies; $\hat{\sigma}_e^2$ = variância ambiental; $\hat{\sigma}_d^2$ = variância fenotípica dentro de progênies, e $\hat{\sigma}_{gxl}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente.

TABELA 6 – Estimativas das correlações fenotípicas ($\hat{r}_{P_{XY}}$) e genéticas ($\hat{r}_{g_{XY}}$) entre DAP e produção de resina em *P. elliottii* var. *elliottii*, aos 12 anos de idade, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Local	$\hat{r}_{P_{XY}}$	$\hat{r}_{g_{XY}}$
Angatuba	0,41	0,69**
Itapetininga	0,39	0,05
Itapeva	0,39	0,17

(**) $P \leq 0,01$.

TABELA 7 – Estimativas de correlações fenotípicas ($\hat{r}_{P_{4x12}}$) e genéticas ($\hat{r}_{g_{4x12}}$) entre as idades de 4 e 12 anos para DAP e produção de resina em *P. elliottii* var. *elliottii*, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Caráter	Parâmetro	Local		
		Angatuba	Itapetininga	Itapeva
DAP	$\hat{r}_{P_{4x12}}$	0,74**	0,80**	0,71**
	$\hat{r}_{g_{4x12}}$	0,95**	1,00**	0,79**
Resina	$\hat{r}_{P_{4x12}}$	0,85**	0,39	0,47
	$\hat{r}_{g_{4x12}}$	0,55*	0,94**	0,76**

(*) $P \leq 0,05$.

(**) $P \leq 0,01$.

3.6 Resposta à Seleção

A relação entre o coeficiente de variação genética e variação experimental (CV_g/CV_{exp}) permite avaliar o potencial do ensaio para a seleção. Valores de CV_g/CV_{exp} , próximos a 1,0, indicam uma situação altamente favorável para a seleção (Vencovsky & Barriga, 1994). Os valores de CV_g/CV_{exp} seguiram o comportamento dos coeficientes de variação genética, diminuindo entre as idades de 4 e 12 anos para DAP nos três locais e produção de resina em Angatuba, e aumentaram para produção de resina em Itapetininga e Itapeva (TABELA 4). Esses resultados mostram uma situação favorável para a seleção precoce em DAP em todos os locais, e produção de resina em Angatuba, mas desfavorável para produção de resina em Itapetininga e Itapeva.

As estimativas da resposta à seleção, a partir do índice de seleção multi-efeitos, para os caracteres DAP e produção de resina nos locais de ensaio, são apresentadas na TABELA 8. Foram selecionadas as 30 melhores progênies das 90 ensaiadas (intensidade de seleção: 1:3) e a melhor árvore (intensidade de seleção: 1:30) das melhores progênies, com base nos maiores valores genéticos obtidos pelo índice multi-efeitos. As maiores respostas à seleção para produção de resina foram

observadas em Itapeva (29,2%), seguidas de Itapetininga (12,6%) e Angatuba (1,6%). Apesar dos altos valores observados em Itapetininga e Itapeva, estes foram inferiores aos reportados em outros trabalhos de seleção para produção de resina em *P. elliottii* var. *elliottii*. Gurgel Garrido *et al.* (1986/88) relatam ganhos para a produção de resina em torno de 40%, aos 2,5 e 3,5 anos. Romanelli (1988, 1995) estimou um ganho de 61,3%, aos 4 anos, e 30,2% aos 8 anos. Gurgel Garrido & Kageyama (1993) obtiveram ganhos variando de 16,4% a 42,6%. Gurgel Garrido *et al.* (1999) reportam ganhos variando de 17,5% a 56,2%, sendo que em Itapetininga os autores observaram ganhos de, no mínimo, 43,7%.

Sabe-se que a magnitude da resposta à seleção é função da variação genética, da herdabilidade e da intensidade de seleção, sendo apenas a última plausível de manipulação. Nos trabalhos anteriormente citados a intensidade de seleção adotada foi a mesma entre progênies (1:3), mas menor dentro de progênies (1:10), logo, aqui seriam esperados maiores ganhos. Contudo, isso não foi observado e os menores ganhos podem estar associados às características genéticas da população base (variabilidade genética e herdabilidade) e idade das árvores.

TABELA 8 – Resposta à seleção em porcentagem [\hat{R}_s (%)] para DAP e produção de resina em teste de progênies de *P. elliottii* var. *elliottii*, aos 12 anos de idade, em três locais do sul do Estado de São Paulo.

Parâmetro	DAP (cm)			Resina (g)		
	Angatuba	Itapetininga	Itapeva	Angatuba	Itapetininga	Itapeva
$\bar{X}_{População}$	18,84	19,72	18,20	3.214,19	3.343,10	2.802,40
$\bar{X}_{Selecionada}$	25,87	26,28	25,98	5.481,67	5.870,00	5.270,00
\hat{R}_s	0,70	1,61	1,82	51,60	405,80	818,83
$\bar{X}_{Melhorada}^a$	19,95	21,33	20,02	3.279,53	3.742,99	3.624,23
\hat{R}_s	3,7%	8,2%	10,0 %	1,6%	12,6%	29,2%

$$(a) \bar{X}_{Melhorada} = \bar{X}_{População} + \hat{R}_s$$

Onde: $\bar{X}_{População}$ = média da população; $\bar{X}_{Selecionada}$ = média da população selecionada, e $\bar{X}_{Melhorada}$ = média da população melhorada.

4 CONCLUSÕES

1. Existem diferenças significativas entre progênies para os caracteres DAP e produção de resina, indicando a possibilidade de progressos genéticos com a seleção.
2. Foram detectadas interações genótipo x ambiente significativas, do tipo complexa, para produção de resina aos 12 anos de idade, indicando a estratégia multipopulações como a mais adequada para o melhoramento genético da espécie.
3. Foram detectadas correlações fenotípicas e genéticas positivas e baixas entre DAP e produção de resina. Entre idades, para mesmos caracteres, foram detectadas correlações genéticas positivas e significativas entre as idades de 4 e 12 anos, indicando a possibilidade de seleção precoce.
4. As estimativas da resposta esperada na seleção para produção de resina evidenciaram progressos genéticos razoáveis em Angatuba e altos em Itapetininga e Itapeva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. J. **Early results of provenance studies of loblolly and slash pines in Brazil.** 1980. 127 f. Thesis (Ph.D.) - Michigan State University, East Lansing.

ASSOCIAÇÃO DOS RESINADORES DO BRASIL - ARESB. Disponível em: <<http://www.aresb.org.br>>. Acesso em: 08 ago. 2001.

BARRET, J. P. Slash pine gum flow unaffected by seed origin. **Forest & People**, Tjele, v. 13, p. 18-19, 1963.

_____.; BENGTON, G. W. Oleoresin yields for slash pines from seven seed sources. **Forest Science**, Bethesda, v. 10, p. 159-163, 1964.

DORMAN, K. W.; SQUILLACE, A. E. **Genetic of slash pine.** Washington, D.C.: United States Department of Agriculture - USDA, Forest Service, Washington Office, 1974. 20 p. (Research Paper, 20).

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** Harlow: Longman, 1997. 464 p.

FONSECA, S. M. *et al.* Síntese do programa de melhoramento florestal que vem sendo conduzido pelo IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, na região sul do Brasil. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 2, p. 241-244, 1978.

FRANKLIN, E. C. Model relating levels of genetic variance to stand development of four north American conifers. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 28, p. 207-212, 1979.

GANSEL, C. R. Effects of several levels of inbreeding on growth and oleoresin yield in slash pine. In: CONFERENCE ON SOUTHERN FOREST TREE IMPROVEMENT, 11., 1971, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: United States Department of Agriculture - USDA, Forest Service Research Publications, 1971. p. 173-177.

GURGEL GARRIDO, L. M. do A.; GARRIDO, M. A. de O.; KAGEYAMA, P. Y. Teste de progênies precoce de meios-irmãos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. de árvores superiores para a produção de resina. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 20, p. 31-39, 1986/1988.

_____.; KAGEYAMA, P. Y. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm., selecionado para a produção de resina. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 5, p. 21-37, 1993.

_____.; RIBAS, C.; GARRIDO, M. A. de O. Variabilidade da produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 6, p. 113-128, 1994.

_____.; CRUZ, S. F.; RIBAS, C. Interação genótipos por locais em *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 11, p. 1-12, 1999.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding.** Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

MATHESON, A. C.; RAYMOND, C. A. The impact of genotype x environment interactions on Australian *Pinus radiata* breeding programs. **Aust. For. Res.**, Melbourne, v. 14, p. 11-25, 1984.

ROMANELLI, R. C.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no sul do Estado de São Paulo.

MATHESON, A. C.; WHITE, T. L.; POWEL, G. R. Effects of inbreeding on growth, stem form and rust resistance in *Pinus elliottii*. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, p. 37-46, 1995.

NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture - USDA, Forest Service, 1979. 342 p. (Technical Bulletin, 1588).

_____.; KANG, H. C.; BROUARD, J. S. **Tree breeding: principles and strategies**. New York: Springer-Verlag, 1988. 180 p.

PEDERICK, L. A. Family x site interactions in *Pinus radiata* in Victoria, Australia, and implications for breeding strategy. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 39, p. 134-140, 1990.

PETERS, W. J. Variation in oleoresin yielding potential of selected slash pines. **Forest Science**, Washington, D.C., v. 3, p. 306-307, 1971.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Maximização da eficiência de seleção em testes de progênies de *Eucalyptus* através da utilização de todos os efeitos do modelo matemático. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 28/29, p. 37-55, 1994.

ROMANELLI, R. C. Seleção precoce em progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 7, p. 101-103, 1995.

_____. **Variabilidade genética para produção de resina associada às características de crescimento em uma população de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. na região de Itapetininga-SP**. 1988. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

S.A.S. INSTITUTE INC. **SAS procedures guide**. Version 8 (TSMO). Cary, 1999. 454 p.

SHELBOURNE, C. J. A. Genotype-environment interactions: its study and its implications in forest tree improvement. In: PROC. IUFRO GENETICS - SABRAO JOINT SYMPOSIA, 1972, Tokyo. Tokyo: Government Forest Experimental Station, 1972. v. 1, p. 1-28.

SQUILLACE, A. E. Combining superior grown and timber quality with gum yield in slash pine. In: SOUTHERN CONFERENCE ON FOREST TREE IMPROVEMENT, 8., 1965, Savannah. **Proceedings...** Savannah: Georgia Forest Resources Council, 1965. p. 73-76.

_____.; BENGTON, G. W. Inheritance of gum yield and other characteristics of slash pine. In: SOUTH FOREST TREE IMPROVEMENT, 6., 1961. **Proceedings...** Savannah: United States Department of Agriculture - USDA, Forest Service Research Publications, 1961. p. 85-96.

_____.; GANSEL, C. R. **Assessing the potential oleoresin yields in slash pine progenies at juvenile ages**. Ashville: United States Department of Agriculture - USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, 1968. 4 p. (Research Paper SE, 95).

_____.; KRAUS, J. F. Effects of inbreeding on seed yield, germination, rate of germination, and seedling grown in slash pine. In: PROCEEDINGS OF A FOREST GENETICS WORKSHOP, 1971, Macon. Macon: Georgia Forestry Commission, 1971. p. 59-63.

_____.; GANSEL, C. R. Juvenile mature correlation in slash pine. **Forest Science**, Washington, D. C., v. 20, p. 225-229, 1974.

_____.; GODDARD, R. E. Selfing in clonal seed orchards of Slash Pine. **Forest Science**, Washington, D.C., v. 28, p. 71-78, 1982.

VEIGA, A. Correlação entre "site" e valor produtivo do local. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 9, p. 5-10, 1975.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética - SBG, 1994. 496 p.