

Variação genética, interação genótipo solo e ganhos na seleção em teste de progênies de *Corymbia citriodora* Hook em Luiz Antonio, São PauloGenetic variation, genotype x soil interaction and genetic gains in a *Corymbia citriodora* Hook progeny test in Luiz Antonio, São Paulo, BrazilEuripedes Morais<sup>1</sup>, Antonio Carlos Scatena Zanatto<sup>1</sup>, Miguel Luiz Menezes Freitas<sup>1</sup>, Mário Luiz Teixeira de Moraes<sup>2</sup> e Alexandre Magno Sebbenn<sup>1</sup>**Resumo**

O objetivo deste estudo foi investigar a variação genética, a interação genótipo ambiente e a seleção entre e dentro de progênies de *Corymbia citriodora*, em três diferentes tipos de solos (Latossolo Vermelho, Areia Quartzosa e Latossolo Roxo), que ocorrem na Estação Experimental de Luiz Antônio, São Paulo, Brasil. O teste de progênies foi implantado em 1983, utilizando 56 progênies de polinização aberta de *C. citriodora*. Vinte e cinco anos após o plantio foram medidos os caracteres altura, diâmetro à altura do peito (DAP), forma do fuste e sobrevivência. Os melhores crescimentos foram observados em Latossolo Roxo. Foram detectadas diferenças significativas entre progênies para quase todos os caracteres em todos os locais, o que sugere a possibilidade de melhoramento pela seleção. Na análise conjunta de locais foram detectadas diferenças significativas entre locais, progênies e interação genótipo locais para todos os caracteres, o que confirma que o material testado tem variação genética para ser explorada pela seleção em todos os locais. O desdobramento da interação genótipo locais indicou que os caracteres de crescimento apresentam interação do tipo simples e podem ser selecionadas as mesmas progênies para todos os locais. Por outro lado, a interação genótipo locais para forma e sobrevivência foi do tipo complexa e a seleção deve ser específica para cada tipo de solo. A população, por suas características como alta variação genética e controle genético dos caracteres permite a obtenção de grandes ganhos com a seleção entre e dentro de progênies.

**Palavras-Chave:** *Eucalyptus*, Teste de progênies, Melhoramento florestal, Solo

**Abstract**

The aim of this study was to investigate the genetic variation, the genotype x soil interaction and the selection among and within *Corymbia citriodora* progenies in three different kinds of soils (Red Latossol, Quartz Sand and Purple Latossol), which occur in the Luiz Antônio Experimental Station, São Paulo State, Brazil. The progeny test was established 1983, using 56 open-pollinated families of *C. citriodora*. Twenty five years after planting the following traits were measured: height, diameter at breast height (Dbh), stem form and survival. Best growth occurred in Purple Latossol. Significant differences among progenies were detected for most traits in all sites, suggesting the possibility of improvement by selection. In the analysis with sites, significant differences among locals, progenies and genotypes x soil interaction were detected, confirming that the tested material has sufficient genetic variation to be explored by selection in all sites. The analysis of genotype x soil interaction indicates that growth traits present single interaction and the same progenies can be selected in each site. On the other hand, genotype x soil interaction for stem form and survival was complex; and specific progenies need to be selected for each kind of soil. The population, due to its high genetic variation and strong genetic control of traits, permits to obtain considerable genetic gains by selection among and within progenies.

**Keywords:** *Eucalyptus*, Progeny test, Tree breeding, Soil

**INTRODUÇÃO**

Um importante ponto em programas de melhoramento florestal é conhecer quanto estável

são os genótipos nos diferentes ambientes (solo, clima, altitude etc.) onde são realizados os plantios (ZOBEL e TALBERT, 1984; ERIKSSON e EKBERG, 2001). O genótipo das árvores, bem como

<sup>1</sup>Pesquisador do Instituto Florestal de São Paulo - Caixa Postal 1322 - São Paulo, SP - 01059-970 - E-mail: [eebemtoquirino@ig.com.br](mailto:eebemtoquirino@ig.com.br); [acszanatto@uol.com.br](mailto:acszanatto@uol.com.br); [miguellmfreitas@yahoo.com.br](mailto:miguellmfreitas@yahoo.com.br); [alexandresebbenn@yahoo.com.br](mailto:alexandresebbenn@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia, Economia e Sociologia Rural da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista - Av. Brasil-Centro, 56 - Caixa Postal 31 - Ilha Solteira, SP - 15378-000 - E-mail: [teixeira@agr.feis.unesp.br](mailto:teixeira@agr.feis.unesp.br)

o de outros organismos é o resultado de longo tempo de evolução, decorrente da seleção natural e outros processos evolutivos como deriva genética, mutações e imigrações. Isso faz com que combinações gênicas favoreçam ou desfavoreçam a adaptação das espécies, populações, famílias e indivíduos aos diferentes ambientes. A adaptação a diferentes ambientes é conhecida por interação genótipo x ambiente. A interação genótipo x ambiente afeta o esquema de seleção. Se não existe interação genótipo x ambiente ou a interação é do tipo simples, mesmos genótipos podem ser selecionados para os diferentes ambientes. Contudo, se a interação for do tipo complexa, a seleção deverá envolver diferentes genótipos para os diferentes ambientes. Neste caso é necessário estabelecer diferentes zonas de melhoramento, com diferentes genótipos e a produção de sementes em pomares isolados (NAMKOONG, 1979).

Estudos relacionados com espécies da Família Myrtaceae, cujo cultivo é empenhado para a produção de papel e celulose, energia, tábuas para construção civil, moirões e postes, entre outros subprodutos relacionados à potencialidade dessas espécies arbóreas, têm-se intensificado a partir de trabalhos de melhoramento genético em que o resultado final é o aumento de produtividade, menor intervalo de produção, aumento na qualidade, resistência a pragas e doenças e menor custo de produção (ELDRIDGE *et al.*, 1993). Dentre as espécies dessa Família, *Corymbia citriodora* Hook (ex *Eucalyptus citriodora*) tem o seu cultivo aumentado no Brasil, ano após ano, devido às suas características de rápido crescimento e adaptação edafoclimática, além das características de qualidade da madeira e silvicultural. A madeira de *C. citriodora* é excelente para usos múltiplos e tem proporcionado sua disseminação em pequenas e médias propriedades rurais para uso em cerca, construção rural, poste, e a utilização das folhas como matéria prima na extração de óleo essencial. A espécie pode ser cultivada em quase todo o Brasil (GOLFARI *et al.*, 1978), pois seu crescimento é satisfatório. É amplamente cultivado em reflorestamentos para produção de madeira e extração de óleo essencial das folhas para indústria de perfumaria e desinfetantes, sendo também utilizada na arborização de áreas rurais (LORENZI *et al.*, 2003). Entre as espécies de eucalipto é a que apresenta madeira de maior densidade (MORAES *et al.*, 1997; PEREIRA *et al.*, 2000), dependendo das condições edafoclimáticas e da procedência utilizada.

Os objetivos deste trabalho foram investigar a variação genética, a presença de interação genótipo solo e estimar parâmetros genéticos como ganhos na seleção para caracteres de crescimento, forma e sobrevivência em progênes de polinização aberta de *C. citriodora*, em um ensaio instalado em três diferentes tipos de solos da região de Luiz Antônio, São Paulo. As seguintes questões foram abordadas: existe variação genética entre as progênes de *C. citriodora* para caracteres de crescimento, forma e sobrevivência?; diferentes progênes de *C. citriodora* têm mesmo desempenho para caracteres quantitativos nos diferentes tipos de solos ou o crescimento é diferente? e é possível a seleção de mesmas progênes para os diferentes tipos de solo?

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização dos locais de ensaios e delineamento experimental

As 56 progênes testadas são originadas de polinização aberta de árvores matrizes selecionadas para caracteres de crescimento, forma e sanidade em plantios comerciais da Estação Experimental de Pederneiras, do Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo. O teste de progênes foi instalado em 1983 em três diferentes tipos de solos da Estação Experimental de Luiz Antônio, do Instituto Florestal de São Paulo, com as seguintes coordenadas geográficas: 21° 40' S, 47° 49' W, altitude de 550 m. O local 1 tem solo Latossolo Vermelho escuro – LVE – 1 – Álico, A moderado, textura média; o local 2 tem solo formado por Areia Quartzosa profunda – AQ – Álica, A moderado, textura arenosa ao longo do perfil; e o local 3 tem solo Latossolo Roxo – LRE – Eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa. O clima da Estação Experimental de Luiz Antônio é classificado como tropical do Brasil Central, sub-quento e úmido, tendo duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca (junho a agosto). A precipitação anual média é de 1433 mm e a temperatura média anual de 21,7° C, sendo que os meses mais quentes ocorrem em janeiro, fevereiro e março, e os mais frios em maio, junho e julho.

O delineamento experimental utilizado para os três locais foi o látice retangular 7 x 8, com três repetições. As parcelas foram lineares com dez plantas, em espaçamento 3 x 2 m, sem adubação, com bordadura simples para todo o ensaio (uma linha de bordadura). Em 2008 procedeu-se à coleta dos dados para os caracteres de altura (m),

DAP (diâmetro à altura do peito – 1,30 m a partir do solo) (cm), forma do fuste [usando um sistema de notas, com valores variando de um (pior nota) a cinco (melhor nota)] e sobrevivência.

### Análise estatística

As análises de variância foram realizadas utilizando o programa SAS (SAS, 1999) e o procedimento GLM. As análises de variância foram conduzidas em nível de plantas individuais para cada caráter, em cada local de avaliação, bem como para a análise conjunta dos locais, com exceção do caráter sobrevivência, que foi medido em termos de média de parcela. As análises de variância para cada caráter em cada local e conjunta para locais foram realizadas, utilizando-se o modelo de blocos ao acaso, devido à baixa eficiência do lates, assumido o seguinte modelo misto:

$$Y_{ijk} = \mu + b_i + t_j + e_{ij} + d_{ijk},$$

em que,  $Y_{ijk}$  é o valor fenotípico do k-ésimo indivíduo da j-ésima progênie da i-ésima repetição;  $\mu$  é o termo fixo da média total;  $b_i$  é o efeito fixo da i-ésima repetição;  $t_j$  é o efeito aleatório da j-ésima progênie;  $e_{ij}$  é o efeito da interação aleatória entre a j-ésima progênie e i-ésima repetição (erro entre parcelas);  $d_{ijk}$  é o efeito aleatório da k-ésima árvore dentro da j-ésima progênie da i-ésima repetição (erro dentro de parcelas). Sendo,  $i = 1 \dots b$  ( $b$  é o número de repetições);  $j = 1 \dots t$  ( $t$  é o número de progênie);  $k = 1 \dots m$  ( $m$  é o número de plantas dentro das progênie).

Para as análises de variância conjunta para locais foram adicionadas às fontes de variação referente aos efeitos de locais (solos) e interação de locais e progênie. Assim, o modelo misto utilizado foi o:

$$Y_{ijkl} = \mu + l_i + b_{j(i)} + t_k + l_{tik} + e_{ij(k)} + d_{ijkl}$$

em que,  $Y_{ijkl}$  é o valor fenotípico do l-ésimo indivíduo da k-ésima progênie da j-ésima repetição no i-ésimo local;  $\mu$  é o termo fixo da média total;  $l_i$  é o efeito fixo do i-ésimo local;  $b_{j(i)}$  é o efeito fixo da j-ésima repetição dentro do i-ésimo local;  $t_k$  é o efeito aleatório da k-ésima progênie;  $l_{tik}$  é o efeito da interação aleatória entre a k-ésima progênie com o i-ésimo local;  $e_{ij(k)}$  é o efeito da interação aleatória entre a k-ésima progênie na j-ésima repetição dentro do i-ésimo local (erro entre parcelas);  $d_{ijkl}$  é o efeito aleatório da l-ésima árvore dentro da k-ésima progênie da j-ésima repetição no i-ésimo local (erro dentro de parcelas). Sendo,  $l = 1 \dots d$  ( $d$  é o número de locais avaliados).

### Correlação entre tipos de solo

Para avaliar a correlação entre locais no desempenho das progênie foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman entre os três tipos de solos, dois a dois, em nível de médias de progênie para os caracteres altura, DAP, forma e sobrevivência. Essa análise permite a quantificação da interação progênie x tipos de solo.

### Estimativa de componentes da variância e parâmetro genéticos

Da análise de variância foram estimados os componentes de variância, utilizando-se o método REML (Restricted Maximum Likelihood), em combinação com o comando VARCOMP do programa estatístico SAS devido ao desbalanceamento experimental em termos do número desigual de árvores sobreviventes por parcelas. Os componentes estimados foram:  $\sigma_p^2$  = variância genética entre progênie;  $\sigma_{pxl}^2$  = variância da interação genótipo x solos;  $\sigma_e^2$  = variância ambiental, e;  $\sigma_d^2$  = variância fenotípica dentro de parcelas. Desses componentes de variância foram estimadas: a variância fenotípica total em cada local ( $\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_p^2$ ), conjunta para locais ( $\hat{\sigma}_F^2 = \hat{\sigma}_d^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_{pxl}^2 + \hat{\sigma}_p^2$ ) e variância genética aditiva,  $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / \hat{r}_{xy}$ , sendo  $r_{xy}$  o coeficiente médio de parentesco entre plantas dentro de progênie, o qual foi estimado, utilizando a expressão:  $\hat{r}_{xy} = 0,25(1 + \hat{F}_p)[4\hat{s} + (\hat{t}^2 + \hat{t}\hat{r}_s)(1 + \hat{r}_p)]$  (RITLAND, 1989), em que,  $F_p$  é o coeficiente de endogamia na geração parental,  $s$  é a taxa de autofecundação,  $t$  é a taxa de cruzamento,  $r_s$  é a correção de autofecundação (mede a variação individual na taxa de cruzamentos), e  $r_p$  é a correlação de paternidade (mede a proporção de irmãos-completos dentro das progênie). Para calcular  $r_{xy}$  foi utilizada a taxa de cruzamento ( $t_m = 0.85$ ) calculada por Yeh *et al.* (1983) em uma população da espécie. Como o autor não calculou a correção de paternidade ( $r_p$ ) e correlação de autofecundação ( $r_s$ ), utilizou-se a correlação de paternidade calculada para a média de espécies de *Eucalyptus*, 0,36 (SEBBENN, 2001), e assumiu-se ausência de variação na taxa de cruzamento entre plantas ( $r_s = 0$ ) e endogamia na geração parental ( $F_p = 0$ ). Isso resultou no coeficiente de parentesco dentro de progênie de 0,396 e a variância genética aditiva foi calculada finalmente por:  $\hat{\sigma}_A^2 = \hat{\sigma}_p^2 / 0,395$ .

Os coeficientes de herdabilidade, o coeficiente de variação genética e medidas de correlações entre caracteres foram estimados com base em Namkoong (1979). Foram estimados os coeficientes de herdabilidade no sentido restrito em

nível de plantas individuais ( $h^2_i$ ), em nível de média de progênies ( $h^2_m$ ) e dentro de progênies ( $h^2_d$ ) para cada local usando-se as expressões:

$$\hat{h}^2_i = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2},$$

$$\hat{h}^2_m = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + (\hat{\sigma}_e^2/J) + (\hat{\sigma}_d^2/\bar{n}J)}, e$$

$$\hat{h}^2_d = \frac{(1-r_{xy}) \hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}$$

e para o conjunto dos locais (l) usando-se as expressões:

$$\hat{h}^2_{i(l)} = \frac{\hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_{pxl}^2 + \hat{\sigma}_e^2 + \hat{\sigma}_d^2},$$

$$\hat{h}^2_{m(l)} = \frac{\hat{\sigma}_p^2}{\hat{\sigma}_p^2 + (\hat{\sigma}_{pxl}^2/L) + (\hat{\sigma}_e^2/LJ) + (\hat{\sigma}_d^2/\bar{n}LJ)}, e$$

$$\hat{h}^2_{d(l)} = \frac{(1-r_{xy}) \hat{\sigma}_A^2}{\hat{\sigma}_d^2}$$

em que L, J e  $\bar{n}$  são o número de locais, repetições e a média harmônica do número de plantas por parcela.

Os ganhos genéticos esperados com a seleção entre e dentro de progênies ( $G_{ed}$ ) foram calculados por,  $G_{ed} = i_e \hat{\sigma}_F \hat{h}^2_m + i_d \hat{\sigma}_d \hat{h}^2_{d'}$  em que,  $i_e$  e  $i_d$  são as intensidades de seleção em unidade de desvio padrão, aplicada entre e dentro de progênies e  $\sigma_F$  e  $\sigma_d$  são os desvios padrões da variância fenotípica total e dentro de progênies. Para a formação de um pomar de sementes por mudas foram selecionadas 20 progênies (20:56, 36% -  $i_e=1,0583$ ; HALLAUER e MIRANDA FILHO, 1988) e a melhor árvore dentro das melhores progênies (1:30: 3,3% -  $i_d=2,04$ ; HALLAUER e MIRANDA FILHO, 1988). Os ganhos esperados na seleção em porcentagem [ $G_{ed}(\%)$ ] foram estimados por:

$$\hat{G}_{ed}(\%) = 100 \hat{G}_{ed} / \bar{x},$$

em que,  $\bar{x}$  é a média do caráter sob consideração.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise de variância individual por local

Em oito das 12 análises de variâncias individuais para os caracteres por local (Tabela 1) foram detectadas diferenças significativas entre blocos, o que indica que a instalação do ensaio, utilizando o bloqueamento das repetições, foi

eficiente para controlar o ambiente. Entre progênies foram detectadas diferenças significativas pelo teste F para praticamente todos os caracteres em todos os tipos de solos analisados, com exceção dos caracteres altura e sobrevivência no Latossolo Roxo e forma na Areia Quartzosa, os quais foram marginalmente significativas (P=0,0603, P=0,0849 e P=0,0599, respectivamente). Outra exceção foi o caráter sobrevivência em Latossolo Vermelho. De modo geral, estes resultados indicam que existem diferenças genéticas entre as progênies e, portanto, existe a possibilidade de melhoramento genético da população a partir da seleção entre progênies em cada um dos locais.

**Tabela 1.** Probabilidades do teste F da análise de variância individual por tipo de solo, média e incremento médio anual aos 25 anos (IMA) em caracteres de crescimento, forma e sobrevivência de *Corymbia citriodora*.

**Table 1.** Probabilities of F test for individual variance analysis per kind of soil, average and average annual growth at age 25 years (AAG) in growth traits, stem form and survival of *Corymbia citriodora*.

Caráter/Local	Bloco	Progênies	Média	IMA
<b>DAP (cm)</b>				
Latossolo Vermelho	0,0884	0,0001	17,6	0,71
Areia Quartzosa	0,0342	0,0001	15,6	0,62
Latossolo Roxo	0,0111	0,0499	20,6	0,82
<b>Altura (m)</b>				
Latossolo Vermelho	0,5831	0,0001	19,0	0,76
Areia Quartzosa	0,0165	0,0004	19,8	0,79
Latossolo Roxo	0,0207	0,0603	24,9	1,00
<b>Forma</b>				
Latossolo Vermelho	0,0015	0,0040	2,3	--
Areia Quartzosa	0,6163	0,0849	2,6	--
Latossolo Roxo	0,0001	0,0001	3,0	--
<b>Sobrevivência (%)</b>				
Latossolo Vermelho	0,0001	0,7789	49	--
Areia Quartzosa	0,2789	0,0001	47	--
Latossolo Roxo	0,0137	0,0599	69	--

### Análise de variância conjunta para locais

A análise conjunta dos locais para o efeito de bloco dentro de locais foi também significativa para todos os caracteres (Tabela 2), confirmando que a instalação do ensaio com bloqueamento foi eficiente para o controle do ambiente. Diferenças significativas também foram observadas entre diferentes tipos solos e entre progênies para todos os caracteres analisados, o que mostra que as progênies apresentaram desempenho diferente entre os locais, existindo a possibilidade de melhoramento pela seleção de genótipos em todos os locais. Adicionalmente, interações genótipo x solo significativas foram observadas para todos os caracteres estudados.

**Tabela 2.** Probabilidades do teste F da análise de variância conjunta para tipos de solos e média de caracteres de crescimento, forma e sobrevivência de *Corymbia citriodora*.

**Table 2.** Probabilities of F test for joint variance analysis over all kind of soil, average and average annual growth at age 25 years (AAG) in growth traits, stem form and survival of *Corymbia citriodora*.

Fonte de variação	DAP (cm)	Altura (m)	Forma	Sobrevivência (%)
Blocos(Solos)	0,0076	0,0024	0,0001	0,0001
Solos	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Progênies (P)	0,0104	0,0003	0,0001	0,0014
Solos x Progênies	0,0075	0,0006	0,0051	0,0072
Média	21,69	18,27	2,68	55,2%

As interações genótipo solo foram também evidenciadas pela estimativa da correção de Sperman entre as médias dos caracteres, aos pares, entre os três tipos de solos (Tabela 3). As correlações foram todas baixas ( $r < 0,25$ ) entre mesmos caracteres em diferentes tipos de solos. Isso sugere que as melhores e as piores progênies em um local, podem não ser as melhores ou as piores em outro local. A interação genótipo x ambiente pode ser do tipo simples ou complexo. A interação simples ocorre quando os genótipos apresentam diferentes comportamentos nos diferentes tipos de ambiente, mas a classificação da produtividade dos genótipos não altera substancialmente entre os ambientes. Em outras palavras, os melhores ou piores genótipos em um ambiente também são os melhores ou piores nos outros ambientes. Em contraste, a interação complexa ocorre quando os genótipos, além de apresentarem diferente desempenho nos diferentes ambientes, também mudam sua classificação entre os ambientes, isto é, os melhores ou piores genótipos em um ambiente podem não ser piores ou melhores em outro ambiente.

É importante conhecer o tipo de interação em programas de melhoramento porque estes dois tipos de interação requerem diferentes estratégias de seleção. Enquanto a interação simples permite que mesmos genótipos sejam selecionados para os diferentes ambientes, a interação complexa implica na seleção de genótipos específicos para cada ambiente.

Shelbourne (1972) propôs um índice crítico para determinar se a interação observada é do tipo simples ou do tipo complexa. O método é baseado na relação entre a variância genética

da interação genótipo ambiente pela variação genética entre progênies ( $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2$ ). Se a relação apresentar valores  $< 0,5$ , a interação é do tipo simples e se os valores forem  $> 0,5$ , a interação é do tipo complexa.

De acordo com a relação aqui observada entre  $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2$ , a interação para os caracteres de crescimento DAP ( $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2 = 0,34$ ) e altura ( $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2 = 0,21$ ) foi  $< 0,5$ , logo a interação é do tipo simples e é possível a seleção de mesma progênie para todos os três tipos de solos. Por outro lado, esta relação foi muito maior do que 0,5 para os caracteres forma ( $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2 = 2,76$ ) e sobrevivência ( $\sigma_{gxa}^2 / \sigma_p^2 = 4,15$ ), indicando que a seleção para estes caracteres deva ser específica para cada ambiente.

### Crescimento das progênies

As progênies de *C. citriodora* apresentaram melhor desempenho para todos os caracteres no Latossolo Roxo. Nesse solo, o crescimento em DAP foi 24% superior ao observado em Areia Quartzosa e 14% superior em relação ao Latossolo Vermelho. Em altura, o crescimento foi 24% superior ao observado em Latossolo Vermelho e 21% superior ao observado em Areia Quartzosa. A forma foi 22% melhor do que a observada em Latossolo Vermelho e 15% melhor do que a observada em Areia Quartzosa. Já a sobrevivência foi 32% superior ao observado em Areia Quartzosa e 29% superior em relação ao Latossolo Vermelho. Assim, como existem diferenças significativas entre os locais para todos os caracteres e o melhor desempenho foi observado em Latossolo Roxo (Tabela 2): definitivamente esse tipo de solo é o mais adequado para o crescimento da espécie na região de Luiz Antônio.

**Tabela 3.** Correlações fenotípicas para caracteres de crescimento, forma e sobrevivência in um teste de progênies de *Corymbia citriodora* repetido em três diferentes tipos de solos.

**Table 3.** Phenotypic correlation for growth traits, stem form and survival in a *Corymbia citriodora* progeny test repeated in three different kinds of soil.

Tipos de solos	Altura	DAP	Forma	Sobrevivência
LV versus AQ	0,19	0,23	0,18	0,10
LV versus LR	0,13	-0,09	0,10	0,03
AQ versus LR	0,14	0,15	0,03	0,03

LV = Latossolo Vermelho; AQ = Areia Quartzosa; LR = Latossolo Roxo; DAP = diâmetro a altura do peito.

Infelizmente não existem avaliações de testes de progênies de espécies de *Eucalyptus* na idade de 25 anos. Isso se deve ao fato de que a maioria dos plantios com o gênero no Brasil é realizada com o objetivo de fornecer madeira para a produção de celulose, e o sistema de manejo para este fim é baseado na exploração precoce das árvores, entre quatro e sete anos. Logo, testes de progênies são avaliados entre dois e sete anos.

Devido a isso, para comparar o desempenho em crescimento em DAP e altura das progênies do presente experimento com outras espécies, utilizou-se o incremento médio anual (IMA) dos caracteres de crescimento. O IMA em DAP e altura, medido aos 25 anos nos três tipos de solos para as progênies de *C. citriodora* (Tabela 1) foi inferior ao observado em *Eucalyptus resinifera* (SATO *et al.*, 2007) aos 21 anos (DAP=1.84 cm/ano; altura=1,07 m/ano) e *Araucaria cunninghamii* (SEBBENN *et al.*, 2005) aos 20 anos (DAP=1.37 cm/ano; altura=1,16 m/ano), crescendo na mesma Estação Experimental de Luiz Antônio. Isso demonstra que a espécie não é a de mais rápido crescimento no local e se o objetivo fosse este, outras espécies poderiam ser selecionadas para a região.

### Parâmetros genéticos

Os ganhos na seleção são funções da variação genética entre progênies, do controle genético dos caracteres (herdabilidades) e da intensidade de

seleção (NAMKOONG, 1979; FALCONER e MACKAY, 1998). O coeficiente de variação genética e as herdabilidades são propriedades das populações nos ambientes em que vegetam. Por outro lado, o índice de seleção é arbitrário e determinado pelos objetivos do melhoramento (produção de clones, formação de pomar de sementes etc.). Quanto maiores forem estes três componentes maiores serão os ganhos obtidos na seleção. O coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) variou entre os caracteres e tipos de solos de baixo (2,1%) para forma em Latossolo Roxo a alto (16%) para sobrevivência em Areia Quartzosa (Tabela 4). A forma apresentou os menores coeficientes de variação genética, seguida da altura, DAP e sobrevivência. Para o DAP, os valores foram relativamente altos (mínimo 7,37%), o que sugere que ganhos substanciais podem ser obtidos pela seleção das progênies com maiores médias.

O coeficiente de herdabilidade em nível de plantas individuais ( $h^2$ ) foi geralmente baixo, com valores entre 0,0623 (forma em Latossolo Vermelho) e 0,1131 (DAP em Latossolo Vermelho), o que indica que poucos ganhos possam ser obtidos pela seleção massal no experimento. Mesmo padrão foi observado para o coeficiente de herdabilidade dentro de progênies ( $h^2_d$ ). Os baixos valores de  $h^2_d$ , por sua vez, indicam que baixos ganhos genéticos possam ser obtidos pela seleção massal exclusivamente dentro de progênies. De fato, este padrão é

**Tabela 4.** Estimativa de parâmetros genéticos em nível de locais e conjunto para locais em progênies de *Corymbia citriodora*.

**Table 4.** Estimates of genetic parameters for each site and for all sites in a *Corymbia citriodora* progeny test.

Carater/Solo	$\hat{\sigma}_{gca}^2 / \hat{\sigma}_p^2$	CVg (%)	$h^2_i$	$h^2_m$	$h^2_d$	$G_{ed}$	$G_{ed}$ (%)
<b>DAP (cm)</b>							
Latossolo Vermelho	--	8,19	0,1131	0,4159	0,0764	6,32	35,8
Areia Quartzosa	--	7,37	0,1067	0,4077	0,0714	5,05	32,4
Latossolo Roxo	--	--	--	--	--	--	--
Conjunta para solos	0,34	3,45	0,0195	0,2449	0,0129	3,68	20,1
<b>Altura (m)</b>							
Latossolo Vermelho	--	4,53	0,1128	0,4181	0,0760	3,79	19,9
Areia Quartzosa	--	3,79	0,0901	0,363	0,0601	3,18	16,1
Latossolo Roxo	--	--	--	--	--	--	--
Conjunta para solos	0,21	1,73	0,0125	0,1796	0,0082	1,99	9,2
<b>Forma</b>							
Latossolo Vermelho	--	2,32	0,0623	0,3021	0,0401	0,23	9,7
Areia Quartzosa	--	2,44	0,0667	0,2827	0,0447	0,24	9,3
Latossolo Roxo	--	2,1	0,0980	0,4407	0,0624	0,31	10,3
Conjunta para solos	2,76	1,24	0,0239	0,2786	0,0150	0,20	7,5
<b>Sobrevivência (%)</b>							
Latossolo Vermelho	--	--	--	--	--	--	--
Areia Quartzosa	--	16	--	0,6981	--	0,16	34,5
Latossolo Roxo	--	4,58	--	0,2969	--	0,05	7,9
Conjunta para solos	4,15	3,49	--	0,1817	--	0,04	7,5

que tem sido observado em diversos testes de progênies com diferentes espécies arbóreas, idades de avaliação e caracteres quantitativos (ROMANELLI e SEBBENN, 2004; SEBBENN *et al.*, 2005; FREITAS *et al.*, 2006; MORAES *et al.*, 2007; SATO *et al.*, 2007). Isso reforça a idéia de que poucos ganhos podem ser obtidos se a seleção for massal dentro das progênies.

Em contraste, o coeficiente de herdabilidade em nível de média de progênies ( $h_m^2$ ) foi superior aos observados para os coeficientes de herdabilidades  $h_i^2$  e  $h_d^2$ . O coeficiente  $h_m^2$  variou entre 0,2827 para forma na Areia Quartzosas a 0,4181, para altura em Latossolo Vermelho, o que sugere um relativo forte controle genético nos caracteres, em nível de média de progênies e, conseqüentemente, que substanciais ganhos podem ser obtidos pela seleção das melhores progênies. Ressalta-se o caso da mortalidade em Latossolo Vermelho, a qual apresentou herdabilidade de 0,6981. Isso demonstra que o caráter está sob forte controle genético em nível de progênies e que a seleção das progênies que apresentem maior taxa de sobrevivência pode aumentar a sobrevivência de indivíduos em futuros plantios.

### Ganhos na seleção

Os resultados sugerem a possibilidade de obterem-se grandes ganhos genéticos com a seleção aos 25 anos de idade, como já comentado. Infelizmente, não foi possível estimar ganhos genéticos para os caracteres de crescimento no Latossolo Roxo devido à presença de correlações intra-classes. Para os locais e caracteres onde foi possível estimar ganhos genéticos, verificou-se que estes variaram substancialmente entre os diferentes caracteres, sendo que em geral, o DAP apresentou os maiores ganhos (Tabela 4). A seleção conjunta evidencia este resultado de forma mais clara, indicando ganhos em torno de 20% para DAP, 9% para altura e 7,5% para forma e sobrevivência. No Latossolo Vermelho foi observada a possibilidade de se obter os maiores ganhos para a seleção para os caracteres de crescimento (DAP e altura), embora na Areia Quartzosa os ganhos também tenham sido altos.

Estes altos ganhos decorrem do fato da população não ter sido efetivamente melhorada (as progênies são oriundas da seleção massal em plantios comerciais), dos altos coeficientes de variação genética e herdabilidades detectadas em nível de média de progênies e da alta intensidade de seleção aplicada (20 das 56 progênies

e a melhor árvore das melhores progênies). Evidentemente, estes ganhos são para sementes coletadas após o cruzamento entre as árvores selecionadas, em plantios em mesmos tipos de solos e na idade de 25 anos. Os respectivos ensaios podem ser transformados em pomares de sementes por mudas, ou estas 20 árvores superiores podem ser utilizadas para a formação de pomares clonais, ou ainda usadas diretamente para a produção de clones comerciais.

### CONCLUSÕES

Existem diferenças entre progênies para os caracteres de crescimento, forma e sobrevivência nos diferentes tipos de solos;

Existe interação genótipo e tipo de solo para todos os caracteres estudados. A interação para os caracteres DAP e altura é do tipo simples e para forma e sobrevivência é do tipo complexa. Portanto, a seleção das progênies para forma e sobrevivência deve ser específica para cada ambiente;

O desempenho de todos os caracteres foi melhor no Latossolo Roxo;

A população aos 25 anos, por suas características como alta variação genética e controle genético dos caracteres, permite a obtenção de grandes ganhos com a seleção entre e dentro de progênies baseada em alta intensidade de seleção.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. *Eucalypt domestication and breeding*. Oxford: Clarendon Press, 1993. 308p.
- ERIKSSON, G.; EKBERG, I. *An introduction to forest genetics*. Uppsala: Genetic Center, Department of Forest Genetics, 2001. 166 p.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. *Introduction to quantitative genetics*. Harlow: Longman, 1997. 464p.
- FREITAS, M.L.M.; AUKAR, A.P.A.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T.; LEMOS, E.G.M. Variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* F.F. & M.F. Allemão em três sistemas de cultivo. *Revista Árvore*, Viçosa, v.30, n.3, p.319-29, 2006.
- GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil. *Série Técnica. PRODEPEF*, Belo Horizonte, n.11, p.1-66, 1978.

- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468p.
- LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; TORRES, M.A.V.; BACHER, L.B. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368p.
- MORAES, M.L.T.; HIGA, A.R.; CAVENAGE, A.; KANO, N.K. Avaliação da densidade básica da madeira e de sua relação com os caracteres de crescimento, em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings**. Colombo: EMBRAPA/CNPE, 1997. p.43-47.
- MORAES, M.A.; ZANATTO, A.C.S.; MORAES, E.; SEBBENN, A.M.; FREITAS, M.L.M. Variação genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antonio, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.19, n.1, p.93-100, 2007.
- NAMKOONG, G. Introduction to quantitative genetics in forestry. **USDA. Forest Service. Technical Bulletin**, Washington, n.1588, p.1-342, 1979.
- PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Embrapa Documentos**, Colombo, n.38, p.1-113, 2000.
- RITLAND, K. Genetic differentiation, diversity and inbreeding in the mountain monkeyflower (*Mimulus caespitosus*) of the Washington Cascades. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, p.2017-2024, 1989.
- 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. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.16, n.1, p.11-23, 2004.
- SAS INSTITUTE. **SAS procedures guide: version 8 (TSMO)**. Cary: SAS Institute, 1999.
- SATO, A.S.; SEBBENN, A.M.; MORAES, E.; ZANATTO, A.C.S.; FREITAS, M.L.M. Seleção dentro de progênies de *Eucalyptus resinifera* aos 21 anos em Luiz Antonio, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.19, n.1, p.93-100, 2007.
- SEBBENN, A.M. **Estrutura genética de populações de *Cariniana legalis*, a partir de caracteres quantitativos e isoenzimáticos**. 2001. 210p. (Tese de Doutorado em Concentração, Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de São Paulo. Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.
- SEBBENN, A.M.; ZANATTO, A.C.S.; FREITAS, M.L.M.; SATO, A.S.; ETTORI, L.C. Genetic variation in *Araucaria cunninghamii* provenances in Luiz Antonio, SP, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.5, p.435-442, 2005.
- SHELBOURNE, C.J.A. Genotype-environment interactions: its study and its implications in forest tree improvement. In: IUFRO GENETICS SABRAO JOINT SYMPOSIA, 1972, Tokyo. **Proceedings**. Tokyo: GFESJ, 1972. 1v. p.1-28.
- YEH, F.C.; BRUNE, A.; CHELIAK, W.M.; CHIPMAN, D.C. Mating system of *Eucalyptus citriodora* in a seed-production area. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.13, n.6, p.1051-1055, 1983.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496p.

Recebido em 17/08/2009  
Aceito para publicação em 25/11/2009