

Estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira em *Eucalyptus grandis*

Estimates of genetic parameters for physical and mechanical properties of wood in *Eucalyptus grandis*

Paulo Eduardo Telles dos Santos
Isaias Olívio Geraldi
José Nivaldo Garcia

RESUMO: Para a realização do trabalho foram empregadas 41 progênies de polinização aberta de *Eucalyptus grandis* procedência Luís Antônio (origem Atherton, Austrália), arranjadas em dois experimentos em Blocos ao Acaso com três repetições, instalados em Altinópolis, SP, na área experimental da empresa Votorantim Celulose e Papel. As avaliações foram feitas aos 8 anos de idade, num total de 242 árvores (toras). O processamento mecânico das toras e a secagem das tábuas foram efetuados utilizando equipamentos e instalações industriais da empresa Eucatex S/A Indústria e Comércio, em Salto, SP. As avaliações das propriedades mecânicas foram efetuadas em corpos-de-prova oriundos das tábuas mais externas das toras. As estimativas dos componentes de variância foram obtidas empregando-se o método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Os caracteres massa específica, resistência à compressão paralela e resistência à flexão estática mostraram-se promissores para fins de melhoramento, enquanto que para o cisalhamento paralelo não foi detectada variabilidade genética nessa população.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira serrada, Propriedades da madeira, Melhoramento genético

ABSTRACT: Forty-one open pollinated progenies of *Eucalyptus grandis*, Luís Antonio, SP provenance (origin Atherton, Austrália), were evaluated in two Completely Random Block design with three replications, carried out at Altinópolis, SP, in the experimental area of Votorantim Celulose e Papel Company. A total of 242 trees (logs) were evaluated at 8 years old. The mechanical processing of the logs and the drying process of the planks were both provided by using industrial facilities of Eucatex S/A Indústria e Comércio Company, in Salto, SP. Wood samples from the outer plank of the logs were prepared in order to determine their mechanical properties. The estimation of variance components was performed by using the Restricted Maximum Likelihood (REML) procedure. The traits specific gravity, parallel compression and static bending showed promising for breeding purposes, while the trait shear strength did not show the occurrence of genetic variability.

KEYWORDS: Sawn timber, Wood properties, Plant breeding

INTRODUÇÃO

Entre os diversos gêneros de espécies arbóreas de interesse econômico plantados comercialmente nas zonas tropicais e subtropicais do globo, inegavelmente o *Eucalyptus* está entre os mais bem sucedidos, face ao rápido crescimento, diversidade de espécies e atendimento a uma ampla gama de propósitos industriais.

As principais razões do expressivo sucesso da eucaliptocultura no Brasil são: adaptação a diversas condições edafo-climáticas; adequação da madeira produzida a uma multiplicidade de usos (celulose, papel, chapas de fibra, aglomerados, painéis, móveis, estruturas para construção civil, postes, dormentes, entre outros); obtenção de produtos florestais não madeireiros e facilidade para a propagação vegetativa.

A despeito de todo esse potencial, os estudos concernentes à melhoria da qualidade da madeira de espécies de eucalipto via melhoramento genético para a produção de produtos sólidos são ainda relativamente escassos. Para esse propósito, várias características possuem importância relevante, como ocorrência de nós, tipo de grã, rachaduras, empenamentos e propriedades físicas e mecânicas em geral. O melhoramento e o manejo florestal são cruciais para o aumento da qualidade da madeira para fins de serraria.

O fato das propriedades da madeira de *E. grandis* exibirem considerável variação entre e dentro de árvores é bem reconhecido, mesmo entre árvores crescendo em ambientes semelhantes, sugerindo que a variação seria em parte devida às diferenças genéticas entre indivíduos (Malan, 1988).

De acordo com Kikuti et al. (1996), a escolha da espécie mais adequada para a finalidade que se deseja é de fundamental importância, já que as variações de qualidade da madeira existentes entre as diferentes espécies dis-

poníveis para reflorestamento são muito grandes. Neste aspecto, conforme destacam os autores, as características físicas e mecânicas, que variam muito de uma espécie para outra, influenciam diretamente a qualidade final da madeira beneficiada obtida.

Malan (1991), empregando material obtido de um experimento de *E. grandis* de 8,5 anos de idade constituído por 72 progênies de irmãos completos verificou a ocorrência de variações significativas entre progênies para as propriedades da madeira, tais como densidade básica em diferentes posições ao longo do raio, comprimento de fibra e diâmetro de vaso. Os coeficientes de herdabilidade foram medianos, variando de 0,35 a 0,62. Segundo o autor, existem reais oportunidades de manipular as propriedades da madeira de árvores jovens em programas de melhoramento direcionados para atender as necessidades dos usuários de madeira oriunda de plantios manejados para rotações curtas.

Segundo Downes et al. (1999), no passado os objetivos do melhoramento e da silvicultura estavam focados principalmente na maximização do volume de fuste comercializável, enquanto que a qualidade da madeira era considerada apenas superficialmente. Segundo os autores, maiores esforços estão sendo agora direcionados para o entendimento dos efeitos genéticos e de manejo sobre as propriedades das fibras e da madeira.

Assis (1999) relata que, atualmente, face à utilização da clonagem de eucaliptos em escala comercial, análises de rotina visando a caracterização tecnológica de clones para serraria têm demonstrado que os níveis de variabilidade são extremamente altos em várias espécies e híbridos para a maioria das características, possibilitando selecionar árvores com propriedades tecnológicas destacadamente superiores em relação à média da população.

Os principais objetivos do presente trabalho foram: determinar os níveis de variação genética de alguns caracteres tecnológicos na população; estimar parâmetros genéticos, como variâncias genéticas entre progênies e herdabilidades, bem como obter estimativas de progressos esperados com a seleção de tais caracteres.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da população

A população original, pertencente à empresa Votorantim Celulose e Papel (VCP), foi estabelecida na região de Ribeirão Preto, SP, sendo oriunda da macro-região de Atherton, Queensland, Austrália (latitude aproximada de 16°35'S e altitudes entre 900 e 1.000 m). Apresenta grande potencial adaptativo e de produção para as condições subtropicais e tropicais do Brasil. As progênies dos experimentos foram obtidas dessa população, após seleção massal visando a sua transformação em Área de Produção de Sementes (APS). As progênies avaliadas, portanto, originaram-se do intercruzamento de árvores de bons padrões fenotípicos, representando a geração filial do material original introduzido no País.

Coordenadas geográficas e características do local de experimentação

Os experimentos foram instalados em Altinópolis, SP (em área da VCP). As coordenadas geográficas do local são as seguintes: Latitude, 21°04'42"S; Longitude, 47°22'02"W e Altitude, 703 m. Em relação ao clima, os dados relevantes da região são: Precipitação média anual (1994 a 2000), 1.276 mm; Freqüência de geadas (1994 a 2000), 2,4 por ano e Temperatura média anual (1994 a 2000), 23,8° C. O clima está caracterizado como sendo do tipo Cwa, segundo a classificação internacional de W. Köppen. O solo foi classificado como sendo do tipo Neossolo Quartzarênico.

Delineamento experimental

Os dados foram obtidos de dois experimentos justapostos e no delineamento Blocos ao Acaso, contendo no total 41 progênies, ambos com três repetições e parcelas lineares de seis árvores. Como as parcelas foram estabelecidas originalmente com seis plantas, 18 plantas por progênie compunham o estande inicial. Porém, como foram utilizadas duas plantas por parcela no estudo (as que apresentavam maior aptidão na avaliação fenotípica quanto à sanidade, crescimento e forma), cada progênie foi finalmente avaliada com base em seis árvores. O espaçamento inicial entre plantas era de 3m x 2 m. A idade de avaliação dos experimentos foi 8 anos.

Seccionamento e desdobro

A tora utilizada na caracterização tecnológica do material experimental foi obtida mediante seccionamento efetuado por motos-serra, correspondendo à posição basal do fuste e medindo cerca de 2,60 m de comprimento. A conversão das toras em tábuas foi efetuada na serraria industrial da Eucatex S/A Indústria e Comércio, localizada em Salto, SP, sendo o desdobro primário efetuado em serra fita geminada e o secundário em serra múltipla circular.

Dimensões das tábuas

O comprimento estipulado foi de 2,60 m; a espessura ficou entre 2,5 e 2,6 cm e a largura foi definida pelo bitolador da serra de fita dupla, sendo regulado para operar nas medidas de 10,0 cm ou 15,0 cm, em função do diâmetro da tora.

Propriedades físicas e mecânicas da madeira

Preparou-se um corpo-de-prova por tora para cada propriedade, a saber: massa específica, tensão no limite de resistência à compressão paralela às fibras, tensão no limite de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e tensão no limite de resistência à flexão estática.

Assim, geraram-se 242 corpos-de-prova para cada propriedade, sendo que as duas primeiras foram avaliadas no mesmo corpo-de-prova. Devido à limitação de espessura das tábuas (2,5 a 2,6 cm), os corpos-de-prova produzidos apresentaram dimensões ligeiramente menores que as preconizadas pela norma técnica NBR n.º 7190 da ABNT (1997). Desse modo, os resultados foram gerados primordialmente para se estimar parâmetros genéticos, mas não para qualificar a espécie do ponto de vista tecnológico.

Após um longo período de secagem natural da madeira serrada, que variou de 2,5 meses a 5 meses, o lote completo de madeira serrada foi submetido a processo industrial de secagem em estufa, a fim de se atingir uma umidade média próxima de 12%, recomendada para a realização dos testes mecânicos. O processo de secagem teve duração total de quatro dias e foi realizado nas instalações da Eucatex S/A.

Para os ensaios físicos e mecânicos foi escolhida, como mostra a Figura 1, a primeira tábua de cada tora para a obtenção dos corpos-de-prova.

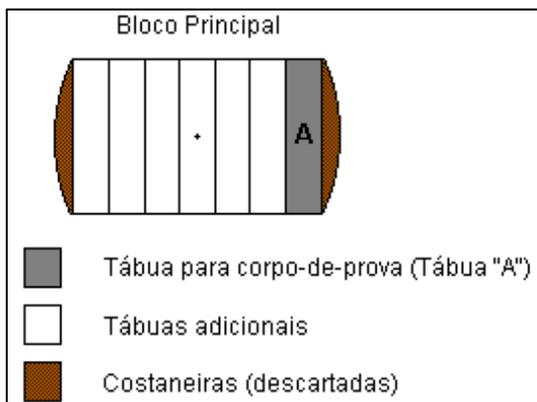


Figura 1
Posição da Tábua "A" no bloco principal, utilizada como fonte de amostras para as avaliações físicas e mecânicas. (Position of Plank "A" in the main block, which was used as source of wood samples for physical and mechanical evaluation).

Apenas a porção central da tábua, com cerca de 120 cm de comprimento, foi separada para dar prosseguimento ao trabalho. Uma fração menor de madeira, com cerca de 5 cm de largura e livre de defeitos, foi obtida dessa parte e processada na desempenadeira a fim de se produzir uma face e uma borda planas e perpendiculares entre si. Em seguida, procedeu-se ao corte final em serra circular para a obtenção de uma peça de madeira nas dimensões 120 cm x 2 cm x 2 cm, base para a confecção final dos diferentes tipos de corpos-de-prova. Os formatos e as dimensões nominais dos mesmos podem ser visualizados na Figura 2.

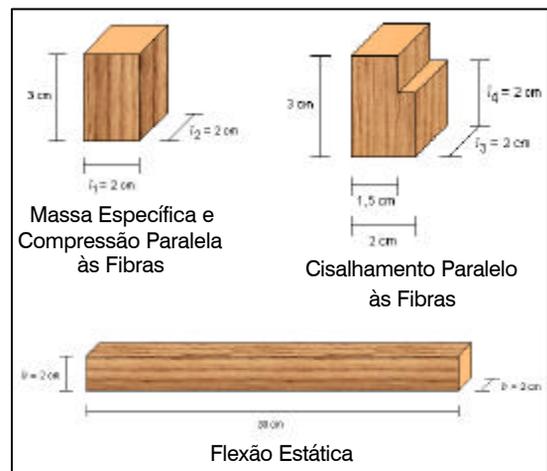


Figura 2
Forma e dimensões nominais dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios físicos e mecânicos. (Shape and dimensions of wood samples used in the physical and mechanical tests)

As dimensões exatas de cada corpo-de-prova foram tomadas por meio de paquímetro digital com precisão de centésimo de milímetro. No caso da determinação da massa específica, pesaram-se as amostras em balança digital com precisão de centésimo de grama. O cálculo da massa específica foi realizado conforme a equação (1).

Massa Específica:

$$Me = \frac{M}{V} \quad (1)$$

em que:

M : massa do corpo-de-prova a 12% de umidade (kg);

V : volume do corpo-de-prova a 12% de umidade (m³).

Unidade: kg/m³.

Os ensaios mecânicos foram efetuados em Máquina Universal de Ensaio, sendo que as velocidades de aplicação da carga foram as seguintes: a) Compressão Paralela: 4.000 N por minuto; b) Cisalhamento Paralelo: 1.000 N por minuto e c) Flexão Estática: 500 N por minuto.

As leituras das cargas de ruptura dos corpos-de-prova foram anotadas e os valores das tensões no limite de resistência foram calculados utilizando-se as fórmulas representadas pelas equações (2), (3) e (4).

Tensão no Limite de Resistência à Compressão Paralela:

$$f_{\text{comp}} = \frac{F}{S} C \quad (2)$$

em que:

F : carga de ruptura (N);

S : área da secção (l₁ . l₂) em cm²;

C : fator de correção de unidades, equivalente a 0,01.

Unidade: MPa.

Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento Paralelo:

$$f_{\text{cis}} = \frac{F}{S} C \quad (3)$$

em que:

F : carga de ruptura (N);

S : área da secção (l₃ . l₄) em cm²;

C : fator de correção de unidades, equivalente a 0,01.

Unidade: MPa.

Tensão no Limite de Resistência à Flexão Estática:

$$f_{\text{flex}} = \frac{M}{I} y C \quad (4)$$

em que:

Momento Resistente: $M = \frac{F \cdot L}{4}$

F: carga de ruptura (N);

L: distância entre os roletes de apoio do corpo-de-prova (fixado em 24 cm).

Momento de Inércia

Máximo da Secção Transversal: $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$

b : medida da base (cm);

h : medida da altura (cm).

$$y = \frac{h}{2}$$

C : fator de correção de unidades, equivalente a 0,01.

Unidade: MPa.

Análise estatística

O desenvolvimento teórico dos modelos matemáticos e a montagem preliminar dos quadros das Análises de Variância foram baseados em Hinkelmann e Kempthorne (1994). O programa SAS v.6.11 foi utilizado para o processamento dos dados. Para a realização das análises estatísticas utilizou-se o procedimento GLM (General Linear Model), seguido da opção RANDOM (SAS, 1990). No caso das estimativas de componentes de variância, adotou-se o procedimento MIXED, seguido da opção REML (Restricted Maximum Likelihood Variance Components Estimation Procedure) como método de estimação (SAS, 1997), o qual é o mais recomendado para modelos mistos e desbalanceados (Marcelino e lemma, 2000).

O modelo matemático para as variáveis analisadas está representado pela expressão (5).

$$Y_{ij(m)} = m + t_m + p_{i(m)} + r_{j(m)} + e_{ij(m)} \quad (5)$$

em que:

$Y_{ij(m)}$ valor observado na progênie i da repetição j dentro do respectivo experimento m ;

μ média geral da análise combinada (constante);

t_m efeito do experimento m ($m_1 = 1$ e $m_2 = 2$) e assumido como fixo;

$p_{i(m)}$ efeito da progênie i ($i_1 = 1, \dots, p_1; i_2 = 1, \dots, p_2$) dentro do respectivo experimento (m_1 ou m_2) e assumido como aleatório;

$r_{j(m)}$ efeito da repetição j ($j = 1, \dots, r$) dentro de experimento e considerado como aleatório;

$e_{ij(m)}$ resíduo médio oriundo dos fatores não controlados no modelo, em que se admite $e_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$.

O esquema da Análise de Variância, contendo os graus de liberdade de cada fonte de variação e as expressões das esperanças dos quadrados médios, está representado na Tabela 1.

Tabela 1

Esquema da Análise de Variância Combinada (dois experimentos) com as esperanças dos quadrados médios, considerando modelo com todos os efeitos aleatórios (exceto experimentos) e dados balanceados.

(Combined Analysis of Variance scheme (two experiments) with the respective expected mean squares, considering all effects as random (except experiments) and balanced data)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	QM	E (QM)
Experimentos	$(m - 1)$	QM_4	---
Repetições/Exptos	$m(r - 1)$	QM_3	$\hat{S}_p^2 + p\hat{S}_r^2$
Progênies/ Exptos	$[m_1(p_1 - 1) + m_2(p_2 - 1)]$	QM_2	$\hat{S}^2 + r\hat{S}_p^2$
Progênies/Exp. 1	$m_1(p_1 - 1)$	---	---
Progênies/Exp. 2	$m_2(p_2 - 1)$	---	---
Erro Médio	$[m_1(p_1 - 1) + m_2(p_2 - 1)](r - 1)$	QM_1	\hat{S}^2
Total	$(p_1 + p_2)r - 1$		

Nota: $m = m_1$ (exp.1) + m_2 (exp.2) = 2 experimentos combinados; $p_1 = 20$ progênies; $p_2 = 21$ progênies; $r = 3$ repetições

Estimativas de parâmetros genéticos

A partir dos quadrados médios (Tabela 1) foram estimadas a variância genética entre progênies (\hat{S}_p^2), variância do erro experimental (\hat{S}^2) e a variância fenotípica entre médias de progênies (\hat{S}_F^2), utilizando o método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

O coeficiente de variação genético foi determinado conforme a equação (6):

$$CV_{gen.(\%)} = \frac{\sqrt{\hat{S}_p^2}}{\bar{X}} 100 \quad (6)$$

em que:

\hat{S}_p^2 : variância genética entre progênies;

\bar{X} : média geral do caráter x .

O coeficiente de herdabilidade para seleção entre médias de progênies foi estimado conforme a equação (7):

$$\hat{h}_x^2 = \frac{\hat{S}_p^2}{\hat{S}_F^2}$$

em que:

\hat{S}_p^2 : variância genética entre progênies;

\hat{S}_F^2 : variância fenotípica entre médias de progênies.

Ganhos de seleção para os caracteres individuais

Para seleção entre médias de progênes, os ganhos esperados com seleção foram obtidos conforme a equação (8):

$$\hat{G}_s = ds \cdot \hat{h}_x^2 \text{ e } \hat{G}_s (\%) = \frac{\hat{G}_s}{\bar{X}} 100 \quad (8)$$

em que:

ds : diferencial de seleção;

\hat{h}_x^2 : coeficiente de herdabilidade entre médias de progênes;

\bar{X} : média geral do caráter.

Intervalos de confiança das estimativas e quociente "b"

Os intervalos de confiança associados às estimativas dos coeficientes de herdabilidade foram calculados conforme metodologia de Knapp et al. (1985), enquanto que os intervalos associados às variâncias de progênes foram determinados de acordo com Barbin (1993). O limite de confiança adotado foi de 0,95 nas duas situações. O quociente "b" para cada caráter foi estimado de acordo com Vencovsky e Barriga (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os caracteres Massa Específica, Compressão Paralela e Flexão Estática, detec-taram-

se diferenças altamente significativas entre as progênes (Tabela 2), ou seja, pelo menos a média de uma delas diferiu estatisticamente das demais. Para esses atributos, os coeficientes de variação experimental foram 4,9%, 6,1% e 11,4%, situando-se predominantemente num nível de alta precisão experimental. No caso do Cisalhamento Paralelo, não foram detectadas diferenças significativas entre as progênes. A precisão experimental foi também satisfatória, da ordem de 10,0%.

As estimativas das variâncias genéticas e fenotípicas, dos coeficientes de herdabilidade entre médias de progênes, dos coeficientes de variação genético e do quociente "b" são apresentadas na Tabela 3.

Observa-se nessa tabela que estimativas de herdabilidade de magnitudes medianas a altas foram obtidas para os caracteres Massa Específica ($\hat{h}^2 = 0,61$), Compressão Paralela ($\hat{h}^2 = 0,57$) e Flexão Estática ($\hat{h}^2 = 0,50$). Os intervalos de confiança destas foram também relativamente pequenos, o que contribuiu para validar as estimativas obtidas.

Os coeficientes de variação genético calculados foram em geral baixos, o que pode ter

Tabela 2

Análises de variância para os caracteres Massa Específica (kg/m³), Compressão Paralela (MPa), Cisalhamento Paralelo (MPa) e Flexão Estática (MPa), com base em médias de parcelas (duas plantas) e para as tábuas mais externas (tábuas "A") das toras basais.

(Analysis of variance for the traits Specific Gravity (kg/m³), Parallel Compression (MPa), Shear Strength (MPa) and Static Bending (MPa), on a plot mean basis (two individuals) and for the outer planks (planks "A") of the bottom logs)

Fonte de Variação	GL	Massa Específica	Compressão Paralela	Cisalhamento Paralelo	Flexão Estática
		QM	QM	QM	QM
Experimentos	1	966,6	46,99	0,540	70,0
Repetições/Experimentos	4	1.082,2	1,88	0,963	169,0
Progênes/Experimentos	39	1.919,8**	20,02**	1,326 ^{ns}	224,2**
Erro Médio	76	754,2	9,03	1,853	113,9
Total	120				
C.V. experimental(%)		4,9	6,1	10,8	11,4

^{ns} não significativo; ** P ≤ 1%.

Tabela 3

Estimativas das variâncias genéticas entre progênies (\hat{S}_p^2), das variâncias fenotípicas entre médias de progênies (\hat{S}_F^2), dos coeficientes de herdabilidade entre médias de progênies (\hat{h}_X^2), dos coeficientes de variação genético e dos quocientes "b" para os caracteres Massa Específica, Compressão Paralela e Flexão Estática.

(Estimates of genetic variances among progenies (\hat{S}_p^2), phenotypic variances among progeny means (\hat{S}_F^2), heritability coefficients (\hat{h}_X^2), coefficients of genetic variation and quotients "b" for the traits Specific Gravity, Parallel Compression and Static Bending)

Caráter	\hat{S}_p^2	\hat{S}_F^2	\hat{h}_X^2	C.V.genético (%)	Quociente "b"
Massa Específica	395,5 (213,1 a 1.052,2)	650,5	0,61 (0,33 a 0,78) ⁽¹⁾	3,56	0,72
Compressão Paralela	3,87 (2,01 a 12,68)	6,80	0,57 (0,24 a 0,75)	4,02	0,65
Flexão Estática	38,1 (18,1 a 145,6)	76,6	0,50 (0,14 a 0,71)	6,62	0,58

(1): intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

vido ocasionado pela seleção preliminar de árvores efetuada dentro das parcelas. O caráter Flexão Estática foi o que apresentou os valores mais expressivos para o coeficiente de variação genético (6,62%). Por outro lado, para os caracteres Massa Específica, Compressão Paralela e Flexão Estática, o quociente "b", que informa a maior ou menor efetividade para a seleção foi 0,72; 0,65 e 0,58, respectivamente. Os valores maiores são mais favoráveis para a seleção.

A maioria dos caracteres tecnológicos ainda não tem sido considerada em programas de melhoramento genético, excetuando a densidade básica. Esse caráter tem importância fundamental, uma vez que é determinante para adequar o uso da madeira para as diferentes finalidades, motivo pelo qual vêm sendo submetido ao melhoramento genético em muitos programas.

A densidade básica tem estreita relação com a massa específica, pois são variáveis que caracterizam a mesma propriedade da madeira, ou seja, a razão entre massa e volume a porcentagens pré-estabelecidas de umidade da substância madeira. Então, tanto uma quanto a

outra tem o mesmo efeito sobre outros caracteres, como por exemplo as propriedades mecânicas. Por esse motivo, os caracteres compressão paralela, cisalhamento paralelo e flexão estática provavelmente são também relacionados entre si.

Segundo Mitchell (1960), a densidade constituiu-se talvez no mais simples e útil índice para se avaliar a adequabilidade da madeira ao seu uso final, havendo alta correlação entre essa propriedade e a resistência mecânica em todas as madeiras. Nesse sentido, Garcia e Lima (1990) relatam que de todas as propriedades físicas e mecânicas, a densidade básica é a única que tem sido efetivamente utilizada como critério de seleção. Foelkel et al. (1992) destacam também a relevância da densidade básica, ao afirmarem que esse caráter foi se configurando ao longo dos anos como o mais universal dos índices para expressar a qualidade da madeira.

Madeiras mais leves são indicadas para uso decorativo, onde não se exigem altas resistências mecânicas. Por outro lado, nos casos onde as peças serradas são submetidas a esforços de qualquer natureza, as madeiras mais

densas são vantajosas, apesar de implicar em maior dificuldade nas operações de manufatura como torneamento, furação, fresagem, cola-gem, entre outras. Na população em estudo, a densidade situou-se dentro de uma faixa intermediária.

Ferreirinha (1961), em trabalho sobre os progressos conseguidos nas propriedades da madeira de eucalipto entre 1956 e 1961, cita artigos cujos autores evidenciaram o aumento da resistência à compressão com o aumento da densidade em *E. globulus* e que o aumento da densidade era acompanhado de acréscimo da resistência à compressão, flexão estática, tração e fendilhamento, sendo mais forte a relação envolvendo compressão e flexão estática. Cita também outros estudos realizados na Itália e em Portugal ressaltando a estreita relação que existe entre a densidade e as propriedades mecânicas nas madeiras de eucalipto.

Panshin e De Zeeuw (1970) e Hillis (1978) igualmente relatam a forte associação que existe entre a densidade e as propriedades de resistência da madeira. Bhat e Thulasidas (1997), ao estudarem seis árvores dominantes de *E. grandis* de 30 anos de idade e sete árvores de *E. tereticornis* de 16 anos de idade, encontraram uma relação muito acentuada entre massa específica e resistências à flexão e compressão, a ponto de uma servir para predizer a outra, especialmente para o *E. grandis*.

No Brasil, Della Lucia e Vital (1980) publicaram estudo em que procuraram verificar a relação entre densidade e várias propriedades mecânicas, considerando determinações efetuadas em 40 árvores de *E. grandis* de 8 anos de idade para posteriormente compará-las com dados de literatura australiana. Considerando-se as menores densidades observadas no Brasil e a tendência das propriedades mecânicas apre-

sentarem valores nitidamente mais baixos do que na Austrália, notaram haver associação entre esses caracteres. Com o mesmo objetivo, Della Lucia e Vital (1983), ao estudarem as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. saligna* de 40 anos de idade, encontraram que as alterações de densidade ao se comparar as regiões próximas à medula, cerne e albarno eram acompanhadas de variações no mesmo sentido para diversas propriedades mecânicas. Lisbôa (1993), ao avaliar 5 árvores de *E. grandis* de 11 anos de idade, também demonstrou haver correlação direta entre a densidade básica e as propriedades de resistência da madeira.

Em face dessas circunstâncias e constatações, ao se selecionar os genótipos com base em uma referência de densidade ou massa específica, conseqüentemente uma série de outras propriedades estão sendo selecionadas indiretamente. Para três das quatro propriedades analisadas (massa específica, compressão paralela e flexão estática) verificou-se a existência de potencial para a seleção entre as progênies do presente trabalho.

Os progressos esperados com a seleção dos caracteres isoladamente, assim como as médias originais da população, as médias das progênies selecionadas e os diferenciais de seleção encontram-se na Tabela 4. Sob uma intensidade de seleção de 20%, os ganhos esperados com seleção foram de 3,36%, 4,40% e 6,25% para os caracteres massa específica, compressão paralela e flexão estática, respectivamente, correspondendo aos ganhos imediatos com uma geração de recombinação. Esses valores encontram-se num nível relativamente bom e são compatíveis com a variação genética encontrada na população.

Tabela 4

Estimativas das médias originais da população (\bar{X}), das médias das progênes selecionadas (\bar{X}_S), dos diferenciais de seleção (ds) e dos ganhos esperados em valor absoluto (\hat{G}_S) e em porcentagem das médias originais (\hat{G}_S (%)), obtidos com a seleção entre médias de progênes de polinização aberta para três caracteres numa intensidade de 20%. (Estimates of the original means of the population (\bar{X}), means of the selected progenies (\bar{X}_S), differentials of selection (ds) and expected responses to selection in absolute value (\hat{G}_S) and in percentage of the original means (\hat{G}_S (%)), obtained with selection among open-pollinated progeny means for three traits at 20% of selection intensity).

Estimativa	Caráter		
	Massa Específica	Compressão Paralela	Flexão Estática
\bar{X}	559,45 kg/m ³	48,94 MPa	93,30 MPa
\bar{X}_S	590,29 kg/m ³	52,72 MPa	104,96 MPa
ds	30,84 kg/m ³	3,78 MPa	11,66 MPa
\hat{G}_S	18,81 kg/m ³	2,16 MPa	5,83 MPa
\hat{G}_S (%)	3,36 %	4,40 %	6,25 %

CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitiram obter as seguintes conclusões:

- ✓ A população estudada apresentou variabilidade genética entre progênes para os caracteres massa específica, compressão paralela e flexão estática;
- ✓ As estimativas dos coeficientes de herdabilidade entre médias de progênes foram relativamente altas (50 a 60%) para os três caracteres, indicando boas perspectivas de melhoramento para os mesmos;
- ✓ As estimativas dos ganhos esperados com a seleção indicam que é possível obter progressos razoáveis com um ciclo de seleção.

AUTORES

PAULO EDUARDO TELLES DOS SANTOS é Engenheiro Florestal, Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP - Embrapa Clima Temperado - Rodovia BR 392, km 78 - Caixa Postal 403 - Pelotas, RS - 96001-970. E-mail: peduardo@cpact.embrapa.br
 ISAIAS OLÍVIO GERALDI é Professor Doutor do Departamento de Genética da Escola Superior

de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: iogerald@esalq.usp.br

JOSÉ NIVALDO GARCIA é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: jngarcia@esalq.usp.br

Os autores agradecem o suporte técnico-operacional recebido das empresas Votorantim Celulose e Papel e Eucatex S/A Indústria e Comércio, nas pessoas dos engenheiros florestais Celina Ferraz do Valle, César Augusto V. Bonine e Marcelo Onuki, sem o qual não seria possível realizar a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 : cálculo e execução de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 247p.
- ASSIS, T.F. Aspectos do melhoramento de Eucalyptus para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, Viçosa, 1999. **Anais**. Viçosa: UFV / SIF / IEF, 1999. p.61-72.

- BARBIN, D. **Componentes de variância: teoria e aplicações.** Piracicaba: FEALQ, 1993. 120p.
- BHAT, K.M.; THULASIDAS, P.K. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* and *E. tereticornis* grown in Kerala. **Indian forester**, v.123, n.4, p.297-302, 1997.
- DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista árvore**, v.4, n.1, p.70-74, 1980.
- DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Propriedades físicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista árvore**, v.7, n.1, p.71-75, 1983.
- DOWNES, G.; BEADLE, C.; EVANS, R.; SCHIMLECK, L.R.; NAMBIAR, E.K.S. Effect of growth rate on wood properties of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. SILVOTECNA CONFERENCE EUCALYPT IN CHILE: PRESENT AND FUTURE, 12, Concepción, 1999. **Proceedings.** Concepción: CORMA / Forestal Mininco / Bosques Arauco / Forestal y Agrícola Monteáguila / Universidade de Concepción, 1999. 15p.
- FERREIRINHA, M.P. Propriedades físicas e mecânicas das madeiras de eucaliptos. In: WORLD EUCALYPTS CONFERENCE, 2, São Paulo, 1961. **Proceedings.** São Paulo: FAO, 1961. v.2, p.1113-1122.
- FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, v.53, n.5, p.35-40, 1992.
- GARCIA, J.N.; LIMA, I.L. Propriedades físicas e mecânicas como indicadores de seleção I. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais.** São Paulo: SBS / SBEF, 1990. v.3, p.685-689.
- HILLIS, W.E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G., ed. **Eucalyptus for wood production.** 2.ed. Adelaide: CSIRO, 1978. cap.12, p.259-289.
- HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments: introduction to experimental design.** New York: John Wiley, 1994. v.1 495p.
- KIKUTI, P.; FIER, I.S.N.; CALORI, V. Produção de madeiras de eucalipto de alta qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, Curitiba, 1996. **Anais.** Curitiba: ABPM / SBS, 1996. v.4, p.53-58.
- KNAPP, S.J.; STROUP, W.W.; ROSS, W.M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop science**, v.25, n.1, p.192-194, 1985.
- LISBÔA, C.D.J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** Curitiba, 1993. 275p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná.
- MALAN, F.S. Genetic variation in some growth and wood properties among 18 full-sib families of South African grown *Eucalyptus grandis*: a preliminary investigation. **South African forestry journal**, n.146, p.38-43, 1988.
- MALAN, F.S. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. **South African forestry journal**, n.157, p.16-23, 1991.
- MARCELINO, S.D.R.; IEMMA, A.F. Métodos de estimação de componentes de variância em modelos mistos desbalanceados. **Scientia agricola**, v.57, n.4, p.643-652, 2000.
- MITCHELL, H.L. Development of an adequate concept of wood quality for the guidance of geneticists and forest managers. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 5, Seattle, 1960. **Proceedings.** Washington: University of Washington, 1960. v.3, p.1341-1348.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3.ed. New York: Mc Graw-Hill, 1970. v.1, 705p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12.** Cary, 1997. cap.18, p.573-702.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide: version 6.** 4.ed. Cary, 1990. v.2, cap. 24, p.891-996.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.