

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*

Determination of the physical and mechanical properties of the wood of *Eucalyptus urophylla*

Laerte Scanavaca Junior
José Nivaldo Garcia

RESUMO: Este trabalho teve o objetivo de determinar propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade) e mecânicas (resistência à compressão paralela às fibras, resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento, módulo da resistência à flexão estática e módulo da elasticidade na flexão estática) da madeira de *E. urophylla* da ilha Flores, Indonésia, com 19 anos de idade. Utilizou-se um teste de nove procedências e sessenta e três progênies, oriundas da Estação Experimental de Ciências Florestais em Anhembi, SP, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Foram selecionadas vinte progênies, duas árvores por parcela, em três repetições, totalizando cento e vinte árvores. De cada árvore foram retirados quatro corpos-de-prova, para a determinação de todas as propriedades estudadas. Não houve diferença estatística entre as progênies para as propriedades estudadas, exceto para a retração radial e volumétrica. A retração volumétrica apresentou 0,66 de herdabilidade para plantas dentro de progênies. Os resultados apresentados permitem classificar a espécie como de média a alta resistência mecânica, alta retratibilidade e moderadamente pesada. Em função dos resultados obtidos a espécie é mais indicada para carpintaria (estrutura) que marcenaria (móveis).

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus urophylla*, Densidade básica, Módulo da resistência à flexão estática, Módulo da elasticidade na flexão estática, Resistência ao cisalhamento, Resistência à compressão paralela às fibras, Retrabilidade, Herdabilidade

ABSTRACT: The objective of the present work was to determine physical (basic density and retractibility) and mechanical (strength in compression parallel to the grain, tangential shear strength to the growth rings, modulus of rupture and modulus of elasticity in static bending) properties of *E. urophylla* wood, nineteen years old, from the island of Flores. A test of nine accessions and sixty three progenies from Anhembi, São Paulo, Forestry Experimental Station, belonging to “Luiz de Queiroz” Superior Agricultural School, São Paulo University. Twenty progenies were selected, two trees per repetition, in a total of one hundred and twenty trees. Four specimens were taken from each tree to the determination of the mentioned properties. There was no significant statistical difference among the progenies for the properties studied, except for radial and volumetric retraction. The volumetric retraction presented 0.66 heritability for plants among the progeny. The presented results enable the classification of the species in having medium to high mechanical strength, high shrinkage and being moderately heavy. Due to the results obtained, the specie is more indicated for carpentry (its structure) than for furniture.

KEYWORDS: *Eucalyptus urophylla*, Basic density, Modulus of elasticity in static bending, Shear strength, Strength in compression parallel to the grain, Shrinkage

INTRODUÇÃO

O Brasil possui clima favorável ao reflorestamento e, em função disto, é um dos países com uma das maiores áreas reflorestadas do planeta,

com aproximadamente 3.000.000 hectares, o que corresponde a 22% do reflorestamento mundial com eucaliptos (Flynn e Shield, 1999).

Dentre as espécies de eucaliptos plantadas no Brasil, o *Eucalyptus urophylla*, além de ser uma das mais cultivadas, apresenta grande potencial de crescimento em termos de área plantada em função da tolerância ao fungo causador do cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*), da boa produtividade e de sua potencialidade de utilização para os mais diversos fins (celulose e papel, chapas duras, serraria, carvão, dentre outros).

Um dos principais problemas na utilização dos eucaliptos como madeira sólida são as tensões de crescimento e de secagem, que causam perdas de até 50% em madeira serrada (Watai, 1990). Além disto, é baixa a confiabilidade por parte das madeireiras e da população em geral em função da escassez de resultados tecnológicos e da pouca tradição no uso deste gênero em nosso país.

O comércio de madeira sólida no Brasil movimentava aproximadamente 22.300.000 m³ e a porcentagem de madeira de reflorestamento (*Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp.) vem aumentando (Mora e Garcia, 2000). Para que a madeira destes gêneros tenha melhor aceitação, principalmente no mercado interno, é necessário maior conhecimento de suas características físicas e mecânicas.

O objetivo deste trabalho foi a determinação de propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade) e mecânicas (resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento, resistência à compressão paralela às fibras, resistência na flexão estática e módulo de elasticidade na flexão estática) de vinte progênies do *E. urophylla* da ilha Flores, no Arquipélago Sonda, com 19 anos de idade.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é um dos países com a maior área de reflorestamento do mundo, e o *E. urophylla* é uma das espécies mais plantadas, ocupando uma área de aproximadamente seiscentos mil hectares (Ferreira, 1999; Mora e Garcia, 2000).

O *E. urophylla* é de floresta aberta alta com casca lisa ("smooth bark", no Brasil também é chamada de "gum") e/ou fibrosa ("rough bark"). As árvores atingem de 30 a 60 m da altura e a penetração de luz permite a formação de sub-bosque. O *E. urophylla* apresenta boa forma do

fuste, densidade básica ao redor de 0,5 g/cm³, possui lignotubérculo, tem boa brotação, responde ao espaçamento e à adubação, apresenta bom desenvolvimento na segunda rotação, é resistente ao déficit hídrico, é susceptível a geadas e apresenta variações clinais e ecotípicas que são altamente importantes para o melhoramento genético da espécie (Ferreira, 1992).

Densidade básica é a massa de madeira seca em relação ao seu volume saturado. Por ser de fácil determinação e de apresentar boa correlação com as propriedades mecânicas da madeira, é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo (Panshin e Zeeuw, 1970).

A densidade é uma das propriedades físicas mais importantes na caracterização tecnológica da madeira, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (Arganbright, 1971). Em termos químicos, é reflexo da porcentagem dos diferentes constituintes que são celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos. É influenciada também pelas dimensões dos elementos anatômicos como comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen das fibras ou traqueídeos. (Panshin e Zeeuw, 1970; Arganbright, 1971; USDA, 1974).

A retratibilidade é a movimentação da madeira (inchamento ou encolhimento) pelo ganho ou perda de água abaixo do ponto de saturação das fibras. A retração tangencial é maior que a radial, enquanto que a retração longitudinal é praticamente desprezível. Outro parâmetro importante é o Índice de Retração Anisotrópica (IRA), razão entre as retrações tangencial (RT) e radial (RR). De uma maneira geral, quanto mais baixa esta razão, isto é, quanto mais próxima de um, melhor é a espécie para marcenaria. Para Hillis (1978), a retratibilidade excessivamente alta da madeira dos eucaliptos é um dos principais problemas para a sua utilização como madeira sólida.

Os efeitos combinados da retração tangencial e radial ocasionam mudanças na forma das peças de madeira por causa das diferenças nas retrações e na curvatura dos anéis de crescimento. Deste modo, a retração e a deformação variam conforme a posição radial de onde a peça de madeira foi retirada (USDA, 1974).

Para Kollmann e Côté (1968), a retração da madeira aumenta com o aumento de sua massa específica. Chafe (1986) e Chafe (1987) afirma que esta relação não é válida para os eucaliptos devido à excessiva quantidade de extrativos encontrada neste gênero.

Malan e Verryn (1996), trabalhando com *E. grandis* e híbridos desta com outras três espécies, também não encontraram correlações entre a densidade básica e as retrações da madeira.

O módulo da ruptura (MOR) e o módulo da elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça.

O anexo B da NBR-7190 (ABNT, 1997) recomenda os métodos para a determinação de propriedades físicas e mecânicas da madeira, o que permite a classificação de espécies e/ou lotes, bem como definir as respectivas aplicações.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de um teste de procedências/progênes de polinização livre oriundos de populações naturais de *Eucalyptus urophylla* da ilha Flores, na Indonésia (Tabela 1). Pode-se considerar estas progênes como representantes do *E. urophylla* da ilha Flores.

As características da Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF) de Anhembi, local em que foi coletado o material utilizado no presente estudo, são: latitude 22°47' S, longitude 48°09' W e altitude 500 m. O relevo é suavemente ondulado, solo podzólico arenoso e profundo. O clima é Cwa, com verão quente e chuvoso e inverno moderadamente seco e frio, e a ocorrência de geadas é rara. A temperatura média anual é de 21°C, sendo de 17,1°C e 23,7°C as médias das temperaturas nos meses mais frio e quente, respectivamente. A precipitação média anual é de 1.350 mm com déficit hídrico de 20 mm.

Tabela 1

Procedência, Progênie, Tratamento, Localidade, Latitude Sul (°), Longitude Leste (°) e Altitude (m).
(Origin, Progeny, Treatment, Location, South Latitude (°), East Longitude (°) and Altitude (m))

Procedência	Progênie	Tratamento	Localidade	Latitude (S)	Longitude (E)	Altitude(m)
1	1	1	Wukoh	8°32'	122°40'	800
2	5	2	Ilegele	8°40'	122°20'	720
2	6	3	Ilegele	8°40'	122°20'	720
2	9	4	Ilegele	8°40'	122°20'	750
3	13	5	Londangwang	8°00'	122°00'	890
3	14	6	Londangwang	8°00'	122°00'	890
3	17	7	Londangwang	8°00'	122°00'	910
3	20	8	Londangwang	8°00'	122°00'	940
4	23	9	Egon II	8°40'	122°26'	750
5	27	10	Aradetung	8°35'	122°30'	720
6	29	11	Saler Wukok	8°23'	122°40'	940
7	36	12	Lewotobi	8°31'	122°46'	500
7	39	13	Lewotobi	8°31'	122°46'	660
7	42	14	Lewotobi	8°31'	122°46'	650
7	45	15	Lewotobi	8°31'	122°46'	700
7	46	16	Lewotobi	8°31'	122°46'	700
8	48	17	Ilimandiri	8°18'	122°58'	650
8	51	18	Ilimandiri	8°18'	122°58'	400
8	54	19	Ilimandiri	8°18'	122°58'	420
9	60	20	Egon	8°40'	122°26'	780

Métodos

Foram selecionadas vinte progênies, sendo duas árvores por parcela em três repetições, perfazendo seis árvores por progênie e cento e vinte árvores no total. Em cinco procedências, somente uma progênie foi selecionada. Deste modo analisaram-se as plantas como um teste de progênie instalado em blocos casualizados.

De cada árvore selecionada foi retirada uma tora de quatro metros, estas toras foram desdobradas, utilizando-se o cerne para a retirada dos corpos-de-prova para a realização dos testes físicos e mecânicos. Os corpos-de-prova foram retirados das duas extremidades da tora. Foram retirados dois corpos-de-prova de cada extremidade da tora, perfazendo quatro corpos-de-prova por árvore e quatrocentos e oitenta no total.

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira utilizou-se a máquina universal de ensaio da marca Losenhausenwerk, com capacidade de seis toneladas.

Para a realização das análises estatísticas, considerou-se o seguinte modelo matemático:

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

Em que:

Y_{ijk} : o valor observado na k-ésima planta, no j-ésimo bloco e que recebeu o i-ésimo tratamento;

m: média geral;

t_i : efeito do i-ésimo tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 20$), aleatório;

b_j : efeito do j-ésimo bloco ($j = 1, 2, 3$), aleatório;

e_{ij} : erro entre parcelas, aleatório;

d_{ijk} : erro atribuído a k-ésima planta ($k = 1, 2$) da parcela do i-ésimo tratamento, no j-ésimo bloco, aleatório, (Erro dentro).

As análises estatísticas foram feitas no procedimento estatístico PROC GLM, utilizando a soma de quadrados do tipo III, do SAS. Foram verificadas todas as pressuposições para a realização da análise de variância. A variável retração longitudinal (RL) foi transformada em raiz quadrada, visando à normalidade dos erros. As estimativas dos componentes de variância foram obtidas pelo método dos momentos da análise de variância (Tabela 2), pelo procedimento RANDOM do SAS, e as correlações fenotípicas pelo procedimento PROC CORR do mesmo pacote estatístico.

Densidade básica (Db) (g/cm³)

As dimensões nominais dos corpos-de-prova foram $2 \times 2 \times 3$ cm. Os corpos-de-prova foram secos em estufa a $103 \pm 2^\circ$ C e pesados em balança eletrônica com 0,01g de sensibilidade. Todas as dimensões foram mensuradas com auxílio de um paquímetro digital de 0,01 mm de sensibilidade. A Db foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado.

Retração (%)

As dimensões nominais dos corpos-de-prova foram de $2 \times 2 \times 3$ cm nas direções radial, tangencial e longitudinal (axial), respectivamente.

Após a saturação dos corpos-de-prova em água, isto é, estabilização do peso, umidade acima do ponto de saturação das fibras, os corpos-de-prova foram pesados e mensurados. Em seguida, os corpos-de-prova foram colocados para secar em estufa a $103 \pm 2^\circ$ C. Após a estabilização dos pesos, os mesmos foram mensurados novamente. A retração mede a diferença na dimensão do corpo-de-prova quando estão completamente secos para completamente saturados.

Tabela 2

Esquema dos graus de liberdade (GL) e esperanças do quadrado médio [E(QM)] obtidos na análise de variância para média de cada planta.

(Outline of the degrees of freedom (GL) and hopes of the medium square [E(QM)] obtained in the analysis of variance for the average of each plant)

Fonte de Variação	GL	QM	E (QM)	F
Bloco	J - 1	Q_4		
Tratamento	I - 1	Q_3	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2 + JK\sigma_t^2$	Q_3/Q_2
Erro	(J - 1)(I - 1)	Q_2	$\sigma_d^2 + K\sigma_e^2$	Q_2/Q_1
Dentro	IJ (K - 1)	Q_1	σ_d^2	
Total	IJK - 1			

Resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento (f_v) (N/m^2)

A resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento da madeira ($f_{wv,0}$ ou f_{v0}) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção de um corpo-de-prova prismático (N/m^2), sendo dada pela equação 1.

$$f_{v0} = \frac{f_{v0,máx}}{A_v} \quad (1)$$

Em que:

$f_{v0,máx}$: máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova (N);

A_v : área inicial da seção crítica do corpo-de-prova, num plano paralelo às fibras (m^2).

As dimensões nominais dos corpos-de-prova foram de 2 x 5 x 3 cm, com 10 cm^2 na área de cisalhamento (Figura 1). A força foi aplicada a uma velocidade de aproximadamente 67 $N/m^2/s$. Todas propriedades mecânicas foram determinadas com a madeira seca ao ar, isto é, em equilíbrio com a umidade local, que na época que o ensaio foi feito era de 14,5%.

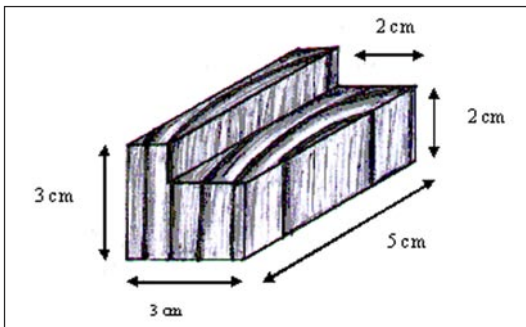


Figura 1
Corpo-de-prova do ensaio de cisalhamento.
(Shear test specimen)

Resistência à compressão paralela às fibras (f_c) (N/m^2)

Neste ensaio são determinadas a resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras da madeira, de um lote de madeira considerado homogêneo.

A resistência à compressão paralela às fibras

da madeira ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova cujas dimensões nominais foram de 2 x 2 x 3 cm, totalizando 4 cm^2 na área de compressão, dada pela equação 2.

$$f_{c0} = \frac{f_{c0,máx}}{A_c} \quad (2)$$

Em que:

$F_{c0,máx}$: máxima força compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio (N);

A_c : área inicial da seção transversal comprimida (m^2).

Na determinação desta propriedade foi aplicada uma força de 67 $N/m^2/s$. Os corpos-de-prova apresentavam umidade em equilíbrio com o ambiente de 14,5%.

Módulo de resistência à flexão estática (f_m) (N/m^2) e módulo de elasticidade à flexão estática (E_f) (N/m^2)

Neste ensaio são determinadas a resistência e a rigidez da madeira à flexão estática em um lote de madeira homogêneo.

O módulo de resistência da madeira à flexão (f_{wm} ou f_m) é um valor convencional dado pela máxima tensão normal que pode atuar em um corpo-de-prova no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese da madeira ser um material homogêneo e isotrópico, dado pela equação 3.

$$f_m = \frac{M_{máx}}{W_e} \quad (3)$$

Em que:

$M_{máx}$: máximo momento aplicado ao corpo-de-prova (N.m);

W_e : módulo de resistência da seção transversal do corpo-de-prova, dada por $bh^2/6$, expresso em metro cúbico (m^3).

O módulo da resistência à flexão e o módulo de elasticidade à flexão foram obtidos simultaneamente do ensaio de um mesmo corpo-de-prova cujas dimensões nominais foram de 2 x 2 x 60 cm (base x altura x comprimento) usando a máquina universal de ensaios.

O ensaio consistiu em aplicar uma força no meio do comprimento do corpo-de-prova, que estava apoiado nas duas extremidades da máquina universal e que apresentou 0,50 m de vão livre, portanto estava sujeito à flexão. A força foi aumentada gradativa e constantemente, permitindo a medição da flecha a cada aumento de 0,5 N de força até o rompimento do mesmo.

A força foi aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento da madeira. A velocidade de aplicação da força foi tal que a tensão aumentou em 17 N/m²/s. A flecha foi medida com auxílio de um relógio digital com sensibilidade de 0,01 mm.

Os resultados obtidos nesta medição permitiram fazer um gráfico, o trecho do gráfico que apresentou uma reta, isto é, sofreu deformação proporcional à força (x = deformação e y = força) foi utilizado para determinar o módulo de elasticidade, através do coeficiente angular desta reta, dada pela equação 4.

$$P = A + Bf \quad (4)$$

Em que:

P = Força aplicada (N);

A = Coeficiente linear da reta;

B = Coeficiente angular da reta (R² = 0,9223);

f = Valor da deformação (m).

O módulo de ruptura à flexão estática (f_m) é calculado através da equação 5.

$$f_m = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (5)$$

Em que:

f_m = Módulo de resistência à flexão estática (N/m²);

P = Força aplicada no instante da ruptura (N);

L = Vão livre do corpo-de-prova, dimensão nominal de 0,50 m;

b = Base da seção transversal, dimensão nominal de 0,02 m;

h = Altura da seção transversal, dimensão nominal de 0,02 m.

O módulo da elasticidade à flexão estática (E_f) foi calculado pela equação 6.

$$E_f = \frac{BL^3}{4bh^2} \quad (6)$$

Em que:

E_f = Módulo de elasticidade à flexão estática (N/m²);

B = Coeficiente angular da reta encontrada através da regressão linear da equação P = A + Bf (R² = 0,9992) (N/m²);

L = Vão livre do corpo-de-prova, dimensão nominal de 0,50 m;

b = Base da seção transversal, dimensão nominal de 0,02 m;

h = Altura da seção transversal, dimensão nominal de 0,02 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 encontram-se os resultados das análises estatísticas das propriedades físicas da madeira.

O valor médio encontrado para a densidade básica (Db) foi de 0,655 g/cm³ e a amplitude de 0,484 a 0,793 g/cm³. Deste modo todas as progênes foram classificadas com de alta densidade básica ou pesadas (IPT, 1985).

Tabela 3

Resumo da análise de variância para a densidade básica (Db), raiz quadrada da retração longitudinal (√RL), retração radial (RR), retração tangencial (RT), retração volumétrica (RV) e índice de retração anisotrópico (IRA). (Summary of the variance analysis for the basic density (Db), square root of the longitudinal shrinkage (√RL), radial shrinkage (RR), tangential shrinkage (RT), total shrinkage (RV) and reason between RT and RR (IRA))

FV	GL	QM					
		Db (g/cm ³)	√RL %	RR%	RT%	RV%	IRA
Bloco	2	0,0067	0,0103	0,0453	0,8859	0,6293	0,0492
Prog	19	0,0042 ^{ns}	0,0100 ^{ns}	1,2683*	2,5737 ^{ns}	6,0998*	0,0457 ^{ns}
Erro	38	0,0063	0,0091	0,6691	1,5154	2,8669	0,0496
Dentro	58	0,0040	0,0056	0,6957	1,2367	2,5129	0,0501

* = significativos a 5% e ^{ns} = não significativo.

O valor médio encontrado para a retração longitudinal (RL) foi de 0,11% com amplitude de 0,03 a 0,24%. O valor encontrado para a retração radial (RR) foi 7,18% para a média e amplitude de 4,78 a 9,76%. Para a retração tangencial (RT) o valor encontrado para a média foi de 12,49% e amplitude de 9,77 a 15,48%. Para a retração volumétrica (RV) o valor encontrado para a média foi de 19,77% e amplitude de 14,59 a 23,34%. Para o índice de retração anisotrópico (IRA = RT/RR) o valor encontrado foi de 1,76 para a média e 1,29 a 2,48 para os limites da amplitude. Valores próximos a estes para o *E. urophylla*, foram encontrados por diversos pesquisadores (Watai, 1990; Oliveira, 1997 e Vital e Trugilho, 1997). Com estes valores a espécie foi classificada como de alta retração (IPT, 1985).

Não houve diferença estatística entre as progênies para as propriedades físicas da madeira, com exceção da retração radial (RR) e volumétrica (RV) (Tabela 4). A grande similaridade entre as propriedades físicas pode ter sido reflexo da maturidade das árvores.

Tabela 4

Teste Duncan para a retração volumétrica (RV).
(Duncan tests for the total shrinkage (RV))

Tratamento	RV %
7	22,00 A
4	20,92 AB
5	20,90 AB
11	20,83 ABC
9	20,45 ABCD
1	20,43 ABCD
18	20,25 ABCD
17	20,18 ABCD
6	20,17 ABCD
2	19,65 ABCDE
3	19,63 ABCDE
10	19,54 ABCDE
8	19,51 ABCDE
20	19,26 ABCDE
12	19,06 BCDE
16	18,99 BCDE
19	18,97 BCDE
13	18,62 CDE
15	18,29 DE
14	17,88 E
Média	19,749

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

Quanto menor a retração volumétrica melhor é a madeira para marcenaria, em função da menor movimentação dimensional. Os valores mais baixos foram encontrados nas progênies 14, 15 e 13.

Madeira com retração volumétrica entre 12,33 e 19,39% é considerada de média retração (Progênies 14 a 20). Retração volumétrica acima de 19,40% é considerada alta (Progênies 7 a 8), conforme IPT (1985).

Na Tabela 5 encontram-se os parâmetros genéticos estimados para a retração volumétrica.

Tabela 5

Estimativas das variâncias, coeficientes de variação, herdabilidades e estimativas dos erros destas estimativas para a retração volumétrica (RV).

(Estimates of the variances, variation coefficients, heritability and estimates of the mistakes of these estimates for the total shrinkage (RV))

Parâmetros	RV %
σ_p^2	0,5531
σ_F^2	3,2467
CVg	3,76
CVe	2,15
\hat{h}_d^2	0,6603
\hat{h}_i^2	0,1704
\hat{h}_m^2	0,5559
$\frac{\bar{b}}{b}$	1,7488
Vâr (σ_p^2)	0,1099
Vâr (σ_e^2)	0,1554
Vâr (σ_d^2)	0,2105
Vâr (h_m^2)	0,0674
Vâr (\hat{h}_i^2)	0,1404

Em que: CVe = Coeficiente de variação entre parcelas; CVg = Coeficiente de variação genético; σ_p^2 = Variância genética entre progênies; σ_F^2 = Variância fenotípica; \hat{h}_d^2 = Coeficiente de herdabilidade no sentido restrito a nível de plantas dentro de progênies; \hat{h}_i^2 = Coeficiente de herdabilidade no sentido restrito a nível de plantas individuais; \hat{h}_m^2 = Coeficiente de herdabilidade no sentido restrito a nível de média de progênies; $\frac{\bar{b}}{b}$ = Razão CVg/ CVe; Vâr (σ_p^2) = Estimativa do erro da variância entre progênies; Vâr (σ_e^2) = Estimativa do erro da variância ambiental entre parcelas; Vâr (σ_d^2) = Estimativa do erro da variância ambiental dentro de parcelas; Vâr (\hat{h}_d^2) = Estimativa do erro da herdabilidade no sentido restrito a nível de plantas dentro de progênies; Vâr (\hat{h}_m^2) = Estimativa do erro da herdabilidade no sentido restrito a nível de médias de progênies; Vâr (\hat{h}_i^2) = Estimativa do erro da herdabilidade no sentido restrito a nível de plantas individuais.

Observa-se na Tabela 5 que os coeficientes de variação (CV) foram baixos, o que reflete a homogeneidade do material e o bom planejamento experimental. Em termos de melhoramento genético é desejável que o CVg seja alto, indicando que a característica sofre bastante influência genética. O coeficiente \bar{b} (CVg/CVe) reflete isto, pois quanto maior for esta razão maior a influência genética e só quando o resultado desta razão for igual ou maior que um, a seleção para a característica será efetiva, como ocorreu neste caso (Vencovsky e Barriga, 1992).

A variância entre as progênies foi alta, consequentemente os ganhos com a seleção também serão altos. A herdabilidade dentro de progênies (\hat{h}^2_d) foi maior que da média de progênies (\hat{h}^2_m) que por sua vez foi maior que plantas individuais (\hat{h}^2_p), indicando que a seleção deverá ser feita nas melhores plantas das melhores progênies.

As estimativas dos erros das variâncias e das herdabilidades foram baixos, assim como os coeficientes de variação, confirmando a boa precisão destas estimativas.

Na Tabela 6 encontram-se os resultados das análises estatísticas das propriedades mecânicas da madeira.

A resistência ao cisalhamento (f_v) apresentou média de 18,64 MPa e amplitude de 14,79 a 22,43 MPa; a resistência à compressão paralela às fibras (f_c) apresentou média de 64,34 MPa e amplitude de 42,19 a 84,14 MPa; o módulo de resistência à flexão estática (f_m) apresentou média de

126,65 MPa e amplitude de 69,13 a 170,08 MPa; e o módulo da elasticidade na flexão estática (E_r) apresentou média de 17.738 MPa e amplitude de 9.494 a 25.340 MPa. Valores próximos a estes foram encontrados por outros pesquisadores (Brotero, 1945; Hellmeister, 1978; Hellmeister, 1992; Gameiro e Naas, 1982; Watai, 1990; Nogueira, 1991 e Oliveira, 1997).

Com estes valores, todas as progênies foram classificadas como de alta resistência ao cisalhamento, ao módulo de ruptura e de elasticidade à flexão estática. Para a compressão, a progênie I (Wukoh) foi classificada como de alta resistência (68,69 MPa), as demais foram classificadas como de média resistência, de acordo com as classificação proposta pelo IPT (1985).

Não houve diferença estatística entre as progênies para as propriedades mecânicas estudadas. A possível explicação para esta grande homogeneidade das propriedades mecânicas é a maturidade das árvores.

A idade pode exercer um efeito considerável sobre as propriedades da madeira, podendo ser decisiva para sua utilização econômica. Com o aumento da idade, aumentam o comprimento da fibra, a espessura da parede dos elementos anatômicos, a porcentagem de madeira madura, o conteúdo de extrativos e a densidade básica (Giordano, 1961; Boyd, 1967 e Harris, 1969).

Os resultados dos coeficientes de correlação de Pearson para as propriedades físicas e mecânicas da madeira estão na Tabela 7.

Tabela 6

Resumo da análise de variância para a resistência à flexão estática (f_m), resistência ao módulo da elasticidade (E_r), resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento (f_v) e resistência à compressão paralela às fibras (f_c). (Summary of the variance analysis for the modulus of rupture in static bending (f_m), module of the elasticity in static bending (E_r), strength to the tangencial shear to the growth rings (f_v) and strength to the parallel compression to the fibers (f_c))

FV	GL	QM		GL	QM	
		f_m (MPa)	E_r (MPa)		f_v (MPa)	f_c (MPa)
Bloco	2	612,29	17817696	2	2,24	91,45
Progênie	19	402,20 ^{ns}	8518412 ^{ns}	19	3,21 ^{ns}	35,18 ^{ns}
Erro	38	389,68	11571557	38	5,13	88,78
Dentro	55	265,90	5473818	56	1,76	30,04

^{ns} = não significativo.

Tabela 7

Coefficientes de correlação de Pearson para as propriedades físicas e mecânicas da madeira.
(Pearson correlation coefficients for the physical and mechanical properties of the wood)

Variável	Db	f _c	f _v	E _f	f _M
Db	-----				
f _c	0,5672 (***)	-----			
f _v	0,5181 (***)	0,5316 (***)	-----		
E _f	0,5213 (***)	0,6695 (***)	0,5142 (***)	-----	
f _M	0,6690 (***)	0,6771 (***)	0,5586 (***)	0,7984 (***)	-----
RL	-0,0443 ns	-0,2036 (*)	-0,1305 ns	-0,0832 ns	-0,1526 ns
RR	0,3407 (***)	0,3845 (***)	0,3616 (***)	0,4614 (***)	0,3011 (***)
RT	-0,0405 ns	-0,0130 ns	0,0458 ns	-0,0136 ns	-0,0580 ns
RV	0,1403 ns	0,1761 ns	0,2082 (*)	0,2184 (*)	-0,1049 ns
IRA	-0,3735 (***)	-0,3963 (***)	-0,3244 (***)	-0,4645 (***)	-0,3460 (***)

*, ***, significativo a 5 e 0,01% respectivamente e ns = não significativo.

Db = Densidade básica (g/cm³); f_v = Resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento (kg/m²); f_c = Resistência à compressão paralela às fibras (kg/m²); f_M = Módulo da resistência à flexão estática (kg/m²); E_f = Módulo da elasticidade à flexão estática (kg/m²); RL = Retração longitudinal (%); RR = Retração radial (%); RT = Retração tangencial (%); RV = Retração volumétrica (%); IRA = Índice de retração anisotrópico.

A retração longitudinal não se correlacionou com nenhuma variável. As retrações radial e tangencial apresentaram boas correlações apenas com a retração volumétrica e esta, por sua vez, também só se correlacionou com aquelas. O índice de retração anisotrópico apresentou correlação boa e negativa apenas com a retração radial. Não houve correlação de nenhuma destas retrações, bem como o índice de retração anisotrópico, com as propriedades mecânicas da madeira, ou as correlações foram muito fracas.

A densidade básica (Db) apresentou correlação fraca e negativa com a retração radial e, conseqüentemente, com o índice de retração anisotrópico, com as demais retrações não se correlacionou. Esta fraca correlação da densidade básica com as retrações está de acordo com Chafe (1986) e Chafe (1987), que afirmou que isso ocorria em função da elevada quantidade de extrativos. Malan e Verryn (1996), trabalhando com *E. grandis* e híbridos desta com outras três espécies, também não encontraram correlação da densidade básica com as retrações.

A densidade básica (Db) apresentou correlação um pouco melhor com as propriedades mecânicas da madeira, principalmente com o módulo de ruptura na flexão estática.

Como regra geral, quanto maior a densidade básica, maiores serão as propriedades mecânicas

da madeira. Corroboram com isto os trabalhos de Brotero (1945), Hillis (1978), Mendes (1984), Sales (1991) e Nascimento (1993).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos para a madeira de *E. urophylla* pode-se concluir que:

- ✓ Não houve diferença estatística entre as progêneses para as propriedades estudadas, exceto para a retração radial e volumétrica;
- ✓ A densidade básica não se correlaciona com a retração e apresenta correlações razoáveis com as propriedades mecânicas da madeira;
- ✓ A espécie apresenta alta resistência ao cisalhamento tangencial aos anéis de crescimento e ao módulo da rigidez e elasticidade à flexão estática, média resistência à compressão paralela às fibras, alta retratibilidade e alta densidade básica;
- ✓ Em função destes resultados a espécie é mais indicada para a carpintaria (estrutura) que marcenaria (móveis).

AUTORES E AGRADECIMENTOS

LAERTE SCANAVACA JUNIOR é Pesquisador da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura - Rua Embrapa, s/n - Caixa Postal 007 - Bairro Vitória - Cruz das Almas, BA - 44380-000 - E-mail: laerte@cnpmf.embrapa.br

JOSE NIVALDO GARCIA é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP – Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13400-970 – E-mail: jngarcia@esalq.usp.br

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), sem o qual não seria possível a publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7190: anexo B**. Rio de Janeiro, 1996. p.132-187
- ARGANBRIGHT, D.G. Influence of extractives on bending strength of redwood (*Sequoia sempervirens*). **Wood and fiber**, v.2, n.4, p.367-372, 1971.
- BOYD, J.D. Effect of plantation conditions on wood properties and utilization. In: FAO WORLD SYMPOSIUM ON MAN-MADE FORESTS AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE, Canberra, 1967. **Documents**. Rome: FAO, 1967. v.1, p.789-821
- BROTERO, F.A. Métodos de ensaios adotados no I.P.T. para o estudo de madeiras nacionais. **Boletim do IPT**, v.31, p.7-28, 1945.
- CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and others species: part 1- the shrinkage/specific gravity ratio. **Wood science and technology**, v.20, n.4, p.293-307, 1986.
- CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and others species: part 2- the influence of wood extractives. **Wood science and technology**, v.21, n.1, p.27-41, 1987.
- FERREIRA, M. **Melhoramento genético do *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake direcionado para a formação de populações base tipo casca lisa ("gum"): relatório de pesquisa**. Piracicaba: FAPESP, 1999. 106p. (não publicado)
- FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, n.45, p.22-30, 1992.
- FLYNN, B.; SHIELD, E. ***Eucalyptus* progress in higher value utilization: a global review**. Tacoma: Robert Flynn & Associates, 1999. 212p.
- GAMEIRO, A.R.M.; NAAS, I.A. Estudo comparativo das deformações físicas e mecânicas do *Eucalyptus saligna* utilizando as normas ABNT e COPANT. **Brasil florestal**, v.12, n.51, p.29-56, 1982.
- GIORDANO, G. Aptude au travail du bois d' *Eucalyptus*. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO, 2, São Paulo, 1961. **Relatórios e documentos**. São Paulo: FAO, 1961. v.2, p.1138-1146
- HARRIS, J.M. Mejoramiento genético de arboles para elevar la calidad de la madeira: oportunidades y ventajas practicas. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2, Washington, 1969. **Proceedings**. Rome: FAO, 1969. v.1, cap.4/1
- HELLMEISTER, J.C. Madeira dos eucaliptos e suas propriedades. **Silvicultura**, v.12, n.44, p.42-45, 1992.
- HELLMEISTER, J.C. **Pontes de eucalipto citriodora**. São Carlos, 1978. 85p. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo
- HILLIS, W.E. Wood quality and utilization. In.: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. *Eucalypts for wood production*. Adelaide: CSIRO, Division of Forest Research, 1978. cap.12, p.259-289
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM**, n.36, p.1-189, 1985.
- KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology: 1- solid wood**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592p.
- MALAN, F.S.; VERRYIN, S.D. Effect of genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-year-old *E. grandis* hybrids. **South African forestry journal**, n.176, p.47-53, 1996.
- MENDES, A.P. **Resistência da madeira ao cisalhamento**. São Carlos, 1984. 122p. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. 111p.
- NASCIMENTO, C.C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia**. Piracicaba, 1993. 119p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo
- NOGUEIRA, M.C.J.A. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**. São Carlos, 1991. 116p. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo
- OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 447p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
- PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1970. v.1 705p.
- SALES, A. **Característica de resistência mecânica de espécies de eucalipto do Estado de São Paulo**. São Carlos, 1991. 204p. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo
- USDA. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: FLP, 1974. 1v.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- VITAL, B.R.; TRUGILHO, P.F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe agropecuário**, v.18, n.186, p.57-61, 1997.
- WATAI, L.T. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos de Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1990. v.1, p.131-133