

SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA AVALIADAS EM ÁRVORES NO CAMPO

Érica de Alvarenga Crespo Rodrigues¹, Sebastião Carlos da Silva Rosado²,
Paulo Fernando Trugilho², Alisson Moura Santos³

(recebido: 12 de abril de 2007; aceito: 28 de março de 2008)

RESUMO: Objetivou-se, no presente estudo estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais para as seguintes propriedades físicas da madeira: densidade básica, contrações radiais, tangenciais, volumétricas e o coeficiente de anisotropia. Estimar os ganhos genéticos indiretos, nas propriedades físicas da madeira, pela seleção para amplitude e para a deformação residual longitudinal avaliada de forma não destrutiva. Para tanto foram utilizados 13 clones de *Eucalyptus* com 10 anos de idade. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As medições não destrutivas foram avaliadas por meio do extensômetro e do resistógrafo. Após a quantificação dessas características efetuou-se o desdobro das toras e foram retiradas amostras de 70,0 cm no topo de cada tábua para a confecção dos corpos-de-prova e determinação das propriedades físicas da madeira. Os valores de herdabilidade para a densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e para o coeficiente de anisotropia foram considerados altos 96; 90; 94; 92 e 72, respectivamente. Observa-se que os ganhos genéticos indiretos na densidade básica podem ser eficientemente alcançados quando se seleciona para a amplitude, fornecida pelo resistógrafo. O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar e selecionar materiais genéticos no campo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, melhoramento, madeira, densidade básica, tensão de crescimento.

CLONE SELECTION OF *Eucalyptus* ENVISAGING WOOD PHYSICAL PROPERTIES ASSESSED ON FIELD CONDITIONS

ABSTRACT: This study evaluated the phenotypic, genetic and environmental parameters for the following wood physical properties: basic density, radial, tangential, volumetric shrinkage and anisotropy coefficient. It also assessed the indirect genetic gains in the physical properties of wood by the selection of amplitude for longitudinal residual strains evaluated using a non-destructive method. A total of 13 *Eucalyptus* clones aged 10 years were used. The experiment was established in a completely randomized design with three replicates. The non-destructive measures were evaluated using extensometer and resistograph. After the quantification of those characteristics, the sawing of the logs was performed and 70.0 cm samples were removed from the top of each board for the making of specimens preparation and determination of physical properties of wood. The heritability values for the basic density, radial, tangential, volumetric shrinkage and the anisotropy coefficient were considered high 96, 90, 94, 92 and 72, respectively. It was found that indirect genetic gains in the basic density can be efficiently reached when selecting for amplitude, supplied by the resistograph. The resistograph proved efficient to evaluate genetic materials in the field.

Key words: *Eucalyptus*, breeding, wood, basic density, tension of growth.

1 INTRODUÇÃO

Nos programas de melhoramento florestal avaliavam-se as árvores em termos de crescimento, forma, adaptabilidade e resistência a doenças e pragas sem se preocupar em incluir nas avaliações as propriedades da madeira. Os progressos na produtividade florestal foram rapidamente alcançados nas últimas décadas. Cotterill & Dean (1990) mencionam ganhos em produtividade da ordem de 60% para os *Eucalyptus*. Entretanto, hoje, o objetivo

do melhoramento florestal não é apenas a geração de florestas com alta produção de madeira. À produtividade também devem-se incorporar outros índices de qualidade da madeira que propiciem a produção de produtos industrializados com alto conteúdo tecnológico e, portanto, de maior valor comercial.

A qualidade dessa matéria-prima pode ser entendida como um conjunto de características inerentes à madeira que indica sua adequação para um determinado uso ou conjunto de usos e a sua capacidade para preencher os

¹Engenheira Florestal – Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras/UFLA – Av. Padre Dehon, 500, 37200-000 – Lavras, MG – eacrespo@oi.com.br

²Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Campus Universitário – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – scrosado@ufla.br, trugilho@ufla.br

³Mestrando em Engenharia Florestal - Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – UFLA – Campus Universitário – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – alissonjanu@yahoo.com.br

requisitos necessários à fabricação de um determinado produto (MORA et al., 1983). Assim, para estabelecer um programa de melhoramento florestal, é importante que o setor industrial defina os atributos da madeira, com níveis de qualidade ideais para a produção de seus produtos finais.

Um dos atributos de qualidade mais utilizado nos vários setores da produção industrial madeireira é a densidade básica. Ela é, sem dúvida, uma das propriedades mais importantes da madeira, sendo considerada um índice de qualidade que indica o uso final da madeira. Em setores como o siderúrgico, celulose e papel e madeireiro a densidade pode contribuir de forma significativa na promoção de ganhos do processo e na alteração das características dos produtos (SHIMOYAMA, 1990).

Outra característica da madeira, comumente utilizada como índice de qualidade é a retratibilidade. Essa característica geralmente está associada a empenamentos e rachaduras nas peças serradas e é considerada um dos principais problemas relacionados com a produção de madeira serrada dos *Eucalyptus*.

No atual estágio de melhoramento genético da madeira, a estratégia mais lógica é a definição de poucos índices de qualidade para serem estudados com maior detalhamento sob o ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos que reflitam maiores ganhos econômicos.

Como, em geral, a avaliação tecnológica da madeira é uma prática onerosa, ela tem-se restringindo à caracterização de uma pequena quantidade de materiais genéticos. Assim, a utilização de métodos não destrutivos possibilitará uma rápida avaliação de grande quantidade de árvores, permitindo a condução de uma seleção mais intensa de árvores desejáveis, as quais podem ser clonadas em massa para a formação de florestas comerciais.

Entre os vários métodos de avaliação não destrutiva das tensões de crescimento e densidade da madeira destacam-se, respectivamente, o uso do extensômetro (BAILLÈRES et al., 1995) e do resistógrafo (GANTZ, 2002). A utilização de métodos rápidos, confiáveis e não destrutivos de caracterização da madeira favorece ganhos expressivos no melhoramento, haja vista que esses métodos permitem avaliação em campo. A aplicabilidade do resistógrafo, na estimativa da densidade da madeira, foi constatada por Lima et al. (2006). O potencial de uso do extensômetro para avaliar indiretamente as tensões de crescimento foi averiguado por Lima et al. (2004).

Diante do exposto, visando auxiliar o estabelecimento de um programa de melhoramento genético para as propriedades físicas da madeira, objetivou-se, neste estudo:

- estimar os parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais, para densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e o coeficiente de anisotropia da madeira;
- estimar os ganhos genéticos indiretos nas referidas propriedades físicas da madeira, pela seleção para amplitude e deformação residual longitudinal, avaliadas de forma não destrutiva na árvore, no campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo foi constituído por 13 clones de *Eucalyptus spp*, três rametes, por clone com dez anos de idade cultivados num teste clonal, dispostos em um espaçamento de 10x4m na Fazenda Riacho, de propriedade da Companhia Mineira de Metais (VM – AGRO) do Grupo Votorantim, localizada no município de Paracatu/MG.

2.1 Amostragem não destrutiva na árvore viva

A amostragem não destrutiva na árvore viva foi realizada com o extensômetro e com o resistógrafo. As medições com o extensômetro (Growth Strain Gauge- do Cirad-Forêt) forneceram os dados digitais de Deformação Residual Longitudinal (DRL) que foram obtidos após a remoção da casca do tronco à altura de 1,3 m do solo (DAP). As DRL's foram obtidas em quatro posições nas árvores, sendo duas entre linhas de plantio (DRL_{EL}) e duas dentro da linha de plantio (DRL_{DL}).

A furadeira resistograph® (resistógrafo) mede a resistência da madeira à penetração de uma broca de 3mm de diâmetro por 500 mm de comprimento. Essa furadeira registra a diferença entre zonas mais densas e mais macias. A perfuração das árvores no campo foi realizada a 1,30m de altura do solo (DAP). As amplitudes foram registradas entre linhas de plantio (A_{EL}) e dentro da linha de plantio (A_{DL}).

2.2 Avaliação da densidade básica, das contrações radial, tangencial, volumétrica e do coeficiente de anisotropia.

Após o desdobro das toras, realizado pelo método tangencial balanceado paralelo ao centro da tora, retiraram-se as porções do topo de cada tábuca e pranchão central, cada uma com comprimento de 70 cm. Essas porções foram sarrafeadas no sentido longitudinal e os corpos-de-prova, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm foram transversalmente

retirados dos sarrafos, de modo a amostrar a madeira no sentido medula-casca. Essas amostras foram utilizadas para o estudo da densidade básica e contração da madeira.

2.2.1 Densidade básica

Os corpos-de-prova foram confeccionados e numerados para a identificação do clone e do ramete. Em seguida, foram imersos em água para a completa saturação. Utilizou-se um paquímetro digital de precisão de 0,01 mm para determinar as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais do corpo-de-prova e uma balança digital com precisão de um centésimo de grama para tomada de massa. Posteriormente, os corpos-de-prova foram colocados em estufa de circulação de ar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem peso constante, sendo então, pesados.

O volume das amostras foi determinado multiplicando-se as dimensões radiais, tangenciais e longitudinais e a densidade básica foi determinada pela relação entre a massa seca da amostra pelo seu volume completamente saturado.

2.2.2 Retratibilidade da madeira

A metodologia adotada no ensaio seguiu a norma ASTM D143-94 (ASTM, 1997). Os corpos-de-prova para o estudo da retratibilidade foram os mesmos utilizados no estudo de densidade básica da madeira.

As medições das dimensões tangenciais e radiais foram realizadas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm, diretamente nas amostras em locais previamente determinados e marcados.

As contrações totais tangenciais, radiais e volumétricas foram calculadas para a madeira na condição totalmente seca, usando como base da porcentagem a dimensão inicial da madeira, ou seja, na condição de saturação completa.

O coeficiente de anisotropia definido como a relação entre a contração tangencial e a contração radial, foi também calculado. Esse coeficiente é utilizado com a finalidade de qualificar a madeira quanto aos problemas originários da secagem.

2.3 Análises estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 13 tratamentos (clones) e três repetições (rametes). As análises estatísticas e a determinação dos parâmetros fenotípicos, genéticos e ambientais foram realizadas através do programa GENES, desenvolvido por Cruz (2001). Na estimativa dos

parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais utilizou-se o seguinte modelo estatístico dado pela equação abaixo, descrita por Cruz et al. (1997):

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$$

Onde: Y_{ij} = Valor médio observado no i-ésimo clone na j-ésima repetição;

m = média geral observada;

C_i = efeito aleatório do i-ésimo clone ($i=1,2,3,\dots,13$);

e_{ij} = erro experimental associado à observação Y_{ij} (efeito aleatório).

Os referidos parâmetros foram estimados pelas esperanças dos Quadrados Médios, conforme detalhado em Vencovsky & Barriga (1992), para estudos em testes clonais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para as propriedades físicas da madeira

Observa-se, na Tabela 1, que existe diferença significativa ($p < 0,01$), pelo teste F, entre os clones estudados, para todas as características avaliadas, evidenciando que, pelo menos, a média de um dos clones difere estatisticamente das demais.

Na Tabela 1, é apresentado o valor médio encontrado para as contrações radial, tangencial e volumétrica e para o coeficiente anisotropia. Verificam-se que os valores para essas contrações foram, respectivamente, 5,3%; 9,7%; 14,8 %; e 1,9% . Esses resultados encontram-se dentro da mesma faixa, para *Eucalyptus*, apresentada por Caixeta et al. (2003), Oliveira (2005), Souza (2002) e Xavier (2001).

Os coeficientes de variação experimental para contração radial (CR), contração tangencial (CT), contração volumétrica (CV) e contração de anisotropia (CA) foram de 7,7; 6,6; 7,6 e 8, 5, respectivamente. Podendo-se concluir que esses coeficientes são considerados baixos e indicam que a coleta de dados foi eficiente e/ou a escolha do delineamento experimental foi adequada.

Os coeficientes de variação genético foram de 13,6% (CR), 16,4% (CT) e 14,9% (CV) e de 7,9% (CA). Como o CV_e para o coeficiente de anisotropia foi maior que o CV_g , a razão CV_g/CV_e foi de apenas 0,9, sendo, portanto, muito inferior aos valores verificados para as contrações da madeira, que foram superiores a 1 (Tabela 1). Isso indica que se podem obter, na seleção de genótipos superiores, ganhos genéticos mais expressivos para a CR, CT e CV.

As herdabilidades encontradas para as contrações foram de 90 % (CR), 94 % (CT), 92% (CV) e 72 para o CA, sendo esses resultados semelhantes aos encontrados por Moura (2000), Oliveira (2005), Souza (2002) e Xavier (2001) e indicam as boas perspectivas para a obtenção de ganhos nas referidas propriedades e, conseqüentemente, melhorando a estabilidade dimensional da madeira.

Para a propriedade densidade básica, estimada em laboratório, o valor médio avaliado foi de 0,507 g.cm⁻³. O coeficiente de variação experimental (CV_e=3,3%) foi muito inferior ao coeficiente de variação genético (CV_g=10,6), conseqüentemente a razão CV_g/CV_e de 3,2 foi extremamente alta. Considerando que a herdabilidade foi muito alta (96%), pode-se deduzir que a seleção de clones superiores propiciará ganhos genéticos muito significativos. As estimativas desses ganhos serão apresentadas posteriormente. Altos valores de herdabilidade para densidade básica da madeira de *Eucalyptus* também foram verificados por Botrel (2006), Moura (2000), Oliveira (2005) e Xavier (2001).

3.2 Correlações e ganhos genéticos entre as características, avaliadas na árvore viva e as propriedades físicas da madeira

Do ponto de vista prático para o uso de índices de seleção mais rigorosos e, conseqüentemente, para o

alcançe de ganhos genéticos mais expressivos na estabilidade e densidade da madeira, as correlações entre as características não destrutivas, avaliadas em árvores vivas e as propriedades físicas da madeira, obtidas pela amostragem destrutiva, tornam-se mais interessantes.

Na Tabela 2, observa-se que a amplitude é altamente correlacionada com as propriedades físicas da madeira.

Considerando apenas as correlações genéticas envolvendo a CR e densidade básica (DB), nota-se que elas assumiram valores de 0,75 (A_{EL} x CR) e 1,0 (A_{EL} x DB), indicando que a redução da amplitude entre linhas de plantio (A_{EL}) pode gerar ganhos indiretos na redução da contração radial e na densidade básica, avaliada no laboratório e com amostragem destrutiva.

Os ganhos indiretos nas propriedades físicas decorrentes da seleção na amplitude estão apresentados na Tabela 3. Verifica-se que a seleção para A_{EL} resultará em uma redução da contração radial da ordem de 15,4%. Isso corresponde a uma Eficiência de Seleção Indireta (ESI) de 77,0%. Ganho indireto em DB, gerado pela seleção em A_{EL} foi de 16,1%, correspondendo em uma ESI de 99,5%. Isso evidenciou a aplicabilidade do resistógrafo para acelerar os programas de seleção e para alcançar ganhos genéticos na densidade da madeira mais expressivos.

Tabela 1 – Análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos para a densidade básica, contrações radiais, tangenciais, volumétricas e para o coeficiente de anisotropia de clones de *Eucalyptus* spp.

Table 1 – Analysis of variance and estimate of the genetic parameters for basic density, radial, tangential, volumetric shrinkages and for the coefficient of anisotropy of *Eucalyptus* spp clones.

FV	GL	Características físicas da madeira				
		Contração Radial (%)	Contração Tangencial (%)	Contração Volumétrica (%)	Coeficiente de Anisotropia	Densidade Básica (g/cm ³)
Clone	12	1,7 **	7,9 **	15,9 **	0,09 **	0,009 **
Resíduo	26	0,1	0,4	1,2	0,02	0,0002
Média		5,3	9,7	14,8	1,9	0,507
CV _e (%)		7,7	6,6	7,6	8,5	3,3
CV _g (%)		13,6	16,4	14,9	7,9	10,6
σ _f ²		0,6	2,6	5,3	0,03	0,003
σ _e ²		0,05	0,1	0,4	0,008	0,00009
σ _g ²		0,5	2,5	4,9	0,02	0,003
H ² _c (%)		90	94	92	72	96
CV _g /CV _e		1,7	2,4	1,9	0,9	3,2

Onde: ** - Significativo, pelo teste de F ao nível de probabilidade de (pd ≤0,01); CV_e = Coeficiente de variação experimental; CV_g = Coeficiente de variação genética; σ_f² = Variação fenotípica; σ_e² = Variação ambiental; σ_g² = Variação genética; H²_c = Coeficiente de herdabilidade; CV_g/CV_e = Índice de variação.

Tabela 2 – Correlação fenotípica (r_f), genética (r_g) e ambiental (r_e), entre as propriedades físicas da madeira com as características avaliadas na árvore viva.

Table 2 – Phenotypic (r_f), genetic (r_g) and environmental (r_e) correlation among the physical properties of wood with the characteristics evaluated in the living tree.

	Contração radial			Contração tangencial			Contração volumétrica			Densidade básica		
	r_f	r_g	r_e	r_f	r_g	r_e	r_f	r_g	r_e	r_f	r_g	r_e
A _{EL}	0,65	0,75	-0,49	0,34	0,37	-0,26	0,38	0,43	-0,31	0,96	1,00	0,01
DRL _M	0,34	0,45	-0,24	0,51	0,59	0,07	0,46	0,55	-0,06	0,05	0,07	-0,13

Onde: A_{EL} = Amplitude entre linhas de plantio; DRL_M = Deformação residual longitudinal média.

Tabela 3 – Ganho direto (GD%), indireto (GI%) e eficiência de seleção indireta (ESI%) para seleção nas características avaliadas na árvore viva e propriedades físicas da madeira.

Table 3 – Direct (GD%), indirect (GI%) gain and indirect selection efficiency for selection in the evaluated characteristics in the living tree and physical properties of wood.

	Contração radial (GD% = 20,0)		Contração tangencial (GD% = 24,5)		Contração volumétrica (GD% = 22,1)		Densidade básica (GD% = 16,2)	
	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI	GI	ESI
A _{EL}	15,4	77,0	9,2	37,7	9,6	43,7	16,1	99,5
DRL _M	8,4	42,1	13,1	53,3	11,3	51,1	1,1	6,9

Onde: A_{EL} (%) = Amplitude entre linhas de plantio; DRL_M (μm) = Deformação residual longitudinal média.

4 CONCLUSÕES

As variações entre os clones foram significativas para todas as características estudadas.

Os valores de herdabilidade para a densidade básica, contrações radial, tangencial, volumétrica e para o coeficiente de anisotropia foram considerados altos.

Os ganhos genéticos indiretos na densidade básica podem ser eficientemente alcançados quando se seleciona para a amplitude.

O resistógrafo mostrou-se eficiente para avaliar a densidade da madeira em árvores vivas e selecionar materiais genéticos no campo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. Denvers, 1997. 679 p.

BAILLÈRES, H.; CHANSON, B.; FOURNIER, M.; TOLLIER, M. T.; MONTIES, B. Structure, composition chimique et retraits de maturation du bois chez les clones d' *Eucalyptus*. **Annals Science Forest**, Paris, v. 52, n. 2, p. 157-172, 1995.

BOTREL, M. C. G. **Melhoramento genético do *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade do carvão vegetal**. 2006.

68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CAIXETA, R. P.; CARVALHO, D.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Variações genéticas em populações de *Eucalyptus* spp. detectada por meio de marcadores moleculares. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 357-363, 2003.

COTTERILL, P. P.; DEAN, C. A. **Successful tree breeding breeding with index selection**. Sidney: CSIRO, 1990. 80 p.

CRUZ, C. D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D. Regazzi, A.J. **Programa genes**: Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph® to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. 2002. 88 f. Dissertação (Mesters in Forest Science) - University of North Carolina State, Raleigh, 2002.

- LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M. Adequação do resistógraph® para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006. São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEM, 2006.
- LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformação residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, 2004.
- MORA, A. B.; MARQUEA, L. E. G.; MIGLIORINI, A. J.; SANSIGOLO, C. A. Variação genética para densidade da madeira em progênies de *E. grandis*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1983. p. 318-324.
- MOURA, M. C. de O. **Variações em características do crescimento em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- OLIVEIRA, A. N. **Previsão do ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragem não destrutivas e destrutivas**. 2005. 78 p. Tese (Doutorado em Floresta de Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.
- SOUZA, M. A. M. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- XAVIER, K. G. **Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira**. 2001. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.