

Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*

Within trees and between clones variations of the wood physical and mechanical properties of *Eucalyptus* hybrids

Clair Rogério da Cruz
José Tarcísio Lima
Graciela Inês Bolzon de Muniz

RESUMO: Sete clones plantados na fazenda Bom Sucesso, na região de Vazante (MG), foram coletados com o objetivo de avaliar propriedades físicas e mecânicas da madeira, assim como suas variações radiais e longitudinais. Para isso, utilizaram-se dados de densidade básica, contrações lineares e volumétricas além de quatro características mecânicas da madeira: módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática, módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras e resistência à compressão paralela às fibras. Para analisar esses dados, utilizou-se um modelo inteiramente casualizado com classificação cruzada com interação, com três repetições. De acordo com esses dados foi encontrada diferença estatística entre clones e dentro dos clones para as propriedades físicas e mecânicas. A variação radial (da medula para a casca) foi maior do que as variações longitudinais (tora 1 e tora 2) coletadas em dois pontos ao longo do tronco. Finalmente, pôde-se deduzir que, baseando-se em pequenas amostras de madeira livres de defeitos, os sete clones de *Eucalyptus* têm potencial para serem utilizados em condições similares às de algumas tradicionais madeiras tropicais brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira, *Eucalyptus*, Tecnologia de madeira

ABSTRACT: Seven clones planted in Bom Sucesso farm, at Vazante region (Minas Gerais State) were collected with the objective of evaluating the physical and mechanical properties, as well as the radial and longitudinal variation of these characteristics. For this, basic density, linear and volumetric shrinkage were used in addition to four mechanical properties: modulus of elasticity and modulus of rupture at static bending, modulus of elasticity at compression parallel to the grain and strength in compression parallel to the grain. To analyse these data, the completely randomised model with 2-way crossed classification with interaction was utilized, with three replications. According to the results, differences between clones and within clones for the physical and mechanical properties were found. The radial variation (from pith to bark) of the wood properties was higher than the longitudinal variations (from log one to log two) along the trunk. Finally, it was inferred that, based on the small clear wood specimens, the seven *Eucalyptus* clones presented potential to be used in similar conditions to the traditional tropical Brazilian timbers.

KEYWORDS: Wood, *Eucalyptus*, Wood technology

INTRODUÇÃO

A otimização da utilização do *Eucalyptus* como madeira serrada depende do conhecimento mais aprofundado de suas características. As propriedades da madeira de tal gênero apresentam variações tanto da medula para a casca quanto da base para o topo das árvores. Sendo assim, o conhecimento dessas variações e de suas intensidades pode ser de grande relevância para se definir a melhor forma de processamento da madeira, minimizando seus defeitos e aumentando o rendimento do produto serrado.

Para a indústria moveleira, por exemplo, o conhecimento dos diversos tipos de madeira existentes dentro de uma mesma tora, pode permitir a obtenção de lotes de peças mais homogêneas para atender demandas mais específicas.

Uma das propriedades físicas de grande importância é a densidade básica. As diferenças na densidade básica verificadas no sentido radial são em proporções mais elevadas que as diferenças ao longo do tronco (Lima, 1999). A variação radial da densidade básica é maior na base das árvores do que em partes mais altas do tronco.

A retratibilidade é outra propriedade de grande importância, principalmente para se avaliar o potencial de utilização para a indústria madeireira. De acordo com Lima (1996), as contrações volumétrica, radial e tangencial em *Eucalyptus* sp estão correlacionadas com a densidade básica, de maneira estatisticamente significativa. De modo geral, maiores contrações são observadas na tora da base das árvores. Essa variação dimensional é uma característica que pode limitar e, até mesmo, desqualificar o material para algumas utilizações (Moura, 2000).

A relação entre as contrações tangencial e radial é chamada de coeficiente de anisotropia.

Este índice é importante na avaliação das contrações (Lima, 1996), uma vez que quanto maior é essa relação, maiores são as tensões geradas durante a secagem e, conseqüentemente, a tendência ao empenamento e fendilhamento da madeira.

A madeira de *Eucalyptus* também atende às mais diferentes exigências quanto às propriedades mecânicas. Em mais de duzentas espécies introduzidas e testadas no Brasil no início do século XX, a grande maioria apresentou elevadas resistências mecânicas (Oliveira, 1999). Moura (2000) estudando 10 clones de híbridos provenientes do noroeste de Minas Gerais, verificou a existência de diferenças estatísticas entre toras para as características estudadas (flexão estática e compressão paralela às fibras) ao longo do fuste, sendo que, de modo geral, maiores valores foram observados nas toras superiores do tronco.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivos identificar e quantificar variações das propriedades físicas e mecânicas entre clones; identificar e quantificar variações das propriedades físicas e mecânicas dentro da árvore e a correlação entre essas propriedades da madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Material genético e localização geográfica

A relação do material genético utilizado neste trabalho pode ser observada na Tabela 1. As estacas que originaram esses clones foram obtidas de árvores superiores, cultivadas a partir de sementes provenientes da Austrália, as quais não possuíram controle de polinização, possibilitando assim a detecção de duas espécies paternas, o *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e o *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

Tabela 1

Caracterização dos clones de *Eucalyptus* sp utilizados para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

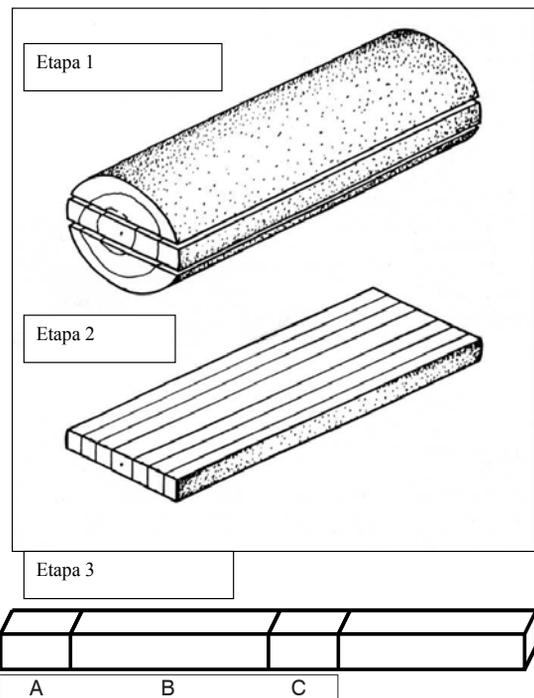
(Characterization of the *Eucalyptus* sp clones used for physical and mechanical wood properties determination).

Clone	Idade (anos)	Diâmetro a 1,3 metros (cm)	Altura (m)	Espaçamento (mxm)	Espécie patenal
1	5,5	26,5	25,0	10x4	<i>urophylla</i>
2	10,5	27,8	25,6	3x3	<i>urophylla</i>
3	10,5	30,2	25,4	3x3	<i>urophylla</i>
4	5,5	28,9	25,7	10x4	<i>urophylla</i>
5	5,5	21,9	24,1	10x4	<i>urophylla</i>
6	5,5	23,8	30,1	10x4	<i>camaldulensis</i>
7	5,5	30,3	33,2	6x4	<i>urophylla</i>

O material foi coletado na região de Vazante, Estado de Minas Gerais, em plantio experimental pertencente à CMM (Companhia Mineira de Metais), localizada em altitude de 550 metros, latitude de 17°36'09"S, longitude de 46°42'02"W. O tipo de relevo é plano e suave ondulado com predominância de latossolo vermelho escuro distrófico.

Amostragem

Foram amostradas três árvores por clone. De cada árvore foram retiradas duas toras de 1,5 m de comprimento, sendo uma a partir da altura de 20 cm (tora 1) e outra a partir de 7,5 m de altura (tora 2). Dessas toras foram retirados pranchões diametrais que foram cortados paralelamente ao eixo principal da árvore. Cada sarrafo mediu 1,5 m de comprimento e seção transversal de 2,5 X 2,5 cm, com orientação segundo os planos anatômicos da madeira. De cada um desses sarrafos foram retiradas amostras para determinações da retratibilidade, densidade básica, flexão estática e compressão paralela às fibras, seguindo essa ordem da base para o topo dos sarrafos. A Figura 1 mostra a posição de amostragem de cada uma das características estudadas e sua localização nas toras.


Figura 1

Sistema de amostragem dos corpos-de-prova na tora da madeira de *Eucalyptus* sp, sendo: etapa 1 - tora de 1,5 m; etapa 2 - prancha diametral e as divisões em sarrafos; etapa 3 - sarrafo mostrando a localização dos corpos-de-prova: A - densidade básica e retratibilidade, B - flexão estática (Ef e MOR) e C - compressão paralela às fibras (Ec e fco).

(System for specimen sampling in the *Eucalyptus* sp log, where: phase 1 - 1,5 m long log; phase 2 - central plank and its sticks; 3 - stick with specimen position: A - basic density and shrinkage, B - static bending and C - Strength in compression parallel-to-the-grain).

Propriedades físicas da madeira

Densidade básica

As dimensões dos corpos-de-prova foram de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm. A densidade básica foi obtida de acordo com a norma ASTM (1997), usando o método de imersão em água.

Contrações lineares e volumétricas

Foram medidas as contrações radial, tangencial, e volumétrica, ignorando-se a contração no sentido longitudinal. Nas determinações lineares e volumétrica utilizaram-se os mesmos corpos-de-prova usados para densidade básica.

As dimensões lineares, nos sentidos radial e tangencial, foram obtidas com o auxílio de paquímetro digital com sensibilidade de $\pm 0,01$ mm. Foram feitas medidas com os corpos-de-prova saturados e secos em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$).

A contração volumétrica total foi obtida através do volume determinado pelo método de imersão em mercúrio. Os corpos-de-prova foram medidos saturados em água e secos em estufa até massa constante.

Propriedades mecânicas da madeira

Foram realizados testes de flexão estática e compressão paralela às fibras de acordo com o método secundário (parte 2) descrito pela norma ASTM (1997). As dimensões dos corpos-de-prova foram 2,5 x 2,5 x 21 cm para compressão paralela às fibras e 2,5 x 2,5 x 41 cm para flexão estática.

A escolha da norma ASTM deu-se pelo fato dessa norma estabelecer corpos-de-prova de menores dimensões. Considerando-se que a amostragem radial na tora foi feita em forma de sarrafos, uma menor área transversal do mesmo possibilitou um maior número de pontos amostrados.

Análises estatísticas

Foram feitas análises de variância considerando-se cada uma das propriedades físicas e mecânicas em função de clone, posição e interação clone x posição. Também foram desenvolvidas análises em função de clone, tora e interação clone x tora. Nessas análises foram verificadas possíveis diferenças estatísticas tanto dentro da tora como entre toras. Na avaliação do experimento, utilizou-se um modelo inteiramente casualizado com classificação cruzada com interação.

O modelo estatístico associado a esse experimento foi preestabelecido com base na análise experimental desejada e os dados foram então coletados de acordo com o referido modelo, apresentado abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + Ab_{ij} + e_{ijk} \text{ sendo:}$$

$i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, r$;
 $N = \text{abr.}$

onde:

μ = média geral; A_i = efeito do i -ésimo nível do fator A (clone) = efeito fixo; B_j = efeito do j -ésimo nível do fator B (posição ou tora) = efeito fixo; Ab_{ij} = efeito da interação entre o i -ésimo nível do fator A e o j -ésimo nível do fator B; e_{ijk} = erro aleatório associado à observação y_{ijk} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira foi feita nas toras 1 e 2. No entanto, os diâmetros diferenciados das duas toras fizeram com que o número de corpos-de-prova em cada tora fosse diferente. Na tora 1 foi possível amostrar três pontos distintos ao longo do raio e, na tora 2, dois pontos foram amostrados. Essa diferença, considerando-se o crescimento em camada das árvores, faz com que a posição central da tora 1 não seja representada exatamente na mesma camada de crescimento da posição central da tora

2, como possivelmente acontece com a posição externa.

Os resultados encontrados nesse trabalho são discutidos com base na variação entre clones, dentro dos clones e dentro das árvores. Não se avaliou o efeito que idades ou espaçamentos diferentes poderiam ter sobre as características da madeira, mesmo reconhecendo-se a influência potencial desses fatores. Segundo Zobel e Jett (1995), existem controvérsias com relação à influência desses fatores sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Mesmo não sendo objetivo deste estudo, algumas associações com idade e espaçamento foram analisadas.

Propriedades físicas

A Tabela 2 apresenta os valores médios de densidade básica, contrações volumétrica, radial e tangencial e ainda os valores de coeficiente de anisotropia determinados da madeira dos clones estudados.

Densidade básica (DB)

A densidade básica média entre clones, considerando-se a amostragem radial na tora foi 0,505 g/cm³ (Tabela 2). Esse valor médio é inferior ao encontrado por Silveira (1999) em clones híbridos coletados no mesmo local do presente trabalho, que foi de 0,531 g/cm³. O clone 7 apresentou a maior densidade básica considerando-se as duas toras, enquanto o clone 3 apresentou a menor média. Na análise de variância da densidade básica entre clones e posições radiais (Tabela 3), verificou-se significância ao nível de 1% da interação clone x posição, tanto para a tora 1 quanto para a tora 2. Isso significa que um determinado clone pode apresentar densidade básica maior que outro em certa posição radial, enquanto que em outra posição ao longo do raio os comportamentos se invertem. O desmembramento das interações pode ser observado na Tabela 3. Na

análise de variância da densidade básica entre clones e toras (Tabela 4) pode-se notar que as diferenças entre toras foi significativa estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

Na tora 1, a posição intermediária apresentou densidade 5,91% maior com relação à posição central, enquanto na posição externa foi 10,54% maior que a posição intermediária (Tabela 2). Na tora 2, a posição externa mostra densidade 5,77% maior que a posição central.

Entre os clones, considerando-se as duas toras, maiores diferenças de densidade entre a posição central e externa foram observadas no clone 6, enquanto menores diferenças foram observadas no clone 3.

Contração radial (CR)

A média entre clones para contração radial foi de 4,9% (Tabela 2). Essa média é menor que a encontrada por Caixeta (2000), que foi de 6,38%. Na média entre as toras, o clone 6 apresentou a maior contração radial e o clone 3 apresentou a menor. Na análise de variância da contração radial entre clones e posições, as interações clone x posição na tora 1 e na tora 2 foi significativa ao nível de 1% de probabilidade (pelo menos um dos clones apresentou valor de contração radial maior em um dos pontos estudados e menor no outro, com relação aos demais). O desmembramento das interações pode ser observado na Tabela 3. Na análise de variância da contração radial entre clones e toras, observaram-se diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade, entre as toras 1 e 2 (Tabela 4).

Na tora 1, a posição intermediária ao longo do raio apresentou contração radial 17,1% maior do que a observada no centro da tora (Tabela 2). Na posição externa, pode-se notar aumento de 11,5% com relação à posição intermediária. Na tora 2, a posição externa teve contração radial 71,7% maior que a posição central. Entre

Tabela 2
Densidade básica (DB), contração radial (CR), contração tangencial (CT), coeficiente de anisotropia (CA) e contração volumétrica (CV) da madeira de clones de *Eucalyptus* sp, em diferentes posições radiais {central (C), intermediário (I), externo (E)} e longitudinais (tora 1 e tora 2).
(Basic density (DB), radial shrinkage (CR), tangential shrinkage (CT), coefficient of anisotropy (CA) and volumetric shrinkage (CV) of *Eucalyptus* sp clones wood, related to different radial positions {inner (C), intermediate (I), outer (E)} and longitudinal (log 1 and log 2))

Clone	Tora	DB (g/cm ³)			CR (%)			CT (%)			CA			CV (%)								
		C	I	E	Média	C	I	E	Média	C	I	E	Média	C	I	E	Média					
1	1	0,463	0,515	0,532	0,503	5,4	5,1	5,1	5,1	10,0	8,8	7,2	8,7	1,85	1,73	1,41	1,66	14,1	13,7	12,7	13,5	
1	2	0,500		0,512	0,506	5,5	4,6	5,1	4,6	7,8	7,0	7,4	7,4	1,42		1,52	1,47	13,4		11,3	12,4	
2	1	0,509	0,473	0,526	0,503	4,4	4,0	4,7	4,4	13,5	9,7	7,4	10,2	3,06	2,43	1,57	2,35	14,9	14,4	12,0	13,8	
2	2	0,551		0,522	0,537	5,1	4,6	4,9	4,6	8,7	7,9	8,3	8,3	1,71		1,72	1,72	14,6		12,7	13,7	
3	1	0,414	0,429	0,468	0,437	3,8	5,1	4,3	4,4	10,0	10,2	8,7	9,6	2,63	2,00	2,02	2,22	14,1	15,1	12,8	14,0	
3	2	0,467		0,480	0,474	4,4	4,4	4,4	4,4	7,9	6,9	7,4	7,4	1,80		1,57	1,69	12,4		10,6	11,5	
4	1	0,487	0,473	0,498	0,486	5,0	4,3	4,6	4,6	10,1	10,9	9,3	10,1	2,02	2,53	2,02	2,19	14,8	14,8	13,3	14,3	
4	2	0,486		0,546	0,516	4,0	5,7	4,9	4,9	9,4	9,4	9,4	9,4	2,35		1,65	2,00	13,3		14,0	13,7	
5	1	0,460	0,511	0,542	0,504	3,0	4,3	4,2	3,8	8,2	10,7	8,2	9,0	2,73	2,49	1,95	2,39	12,3	15,3	12,6	13,4	
5	2	0,510		0,517	0,514	7,1	5,1	6,1	6,1	9,4	8,2	8,8	8,8	1,32		1,61	1,47	13,5		12,6	13,1	
6	1	0,412	0,445	0,544	0,467	3,2	4,5	6,9	4,9	6,9	12,3	9,8	9,7	2,16	2,73	1,42	2,10	10,6	14,8	16,8	14,1	
6	2	0,459		0,543	0,501	5,1	6,4	5,8	5,8	8,9	9,1	9,0	9,0	1,75		1,42	1,59	12,2		15,1	13,7	
7	1	0,455	0,539	0,632	0,542	2,7	4,9	6,1	4,6	9,0	10,2	8,1	9,1	3,33	2,08	1,33	2,25	13,8	13,9	13,7	13,8	
7	2	0,546		0,607	0,577	4,4	6,7	5,6	5,6	9,1	9,0	9,1	9,1	2,07		1,34	1,71	13,3		14,1	13,7	
Média					0,505				4,9			8,9					1,91					13,5

Tabela 3

Resumo das análises de variância das propriedades físicas em função de clone, posição radial de amostragem e da interação clone x posição.

(Summary of the analysis of variance of the physical properties related to clone, radial position of sampling, and clone x position interaction).

Densidade básica			Contração radial			Contração tangencial			Contração volumétrica		
Tora 1			Tora 1			Tora 1			Tora 1		
Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm
Clone	6	**	Clone	6	ns	Clone	6	ns	Clone	6	ns
P/C1	2	ns	P/C1	2	ns	P/C1	2	ns	Posição	2	ns
P/C2	2	ns	P/C2	2	ns	P/C2	2	**	Clone*Posição	12	ns
P/C3	2	ns	P/C3	2	ns	P/C3	2	ns	Resíduo	35	
P/C4	2	ns	P/C4	2	ns	P/C4	2	ns			
P/C5	2	**	P/C5	2	**	P/C5	2	**			
P/C6	2	**	P/C6	2	**	P/C6	2	**			
P/C7	2	**	P/C7	2	**	P/C7	2	ns			
Resíduo	35		Resíduo	35		Resíduo	35				
Tora 2			Tora 2			Tora 2			Tora 2		
Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm
Clone	6	**	Clone	6	ns	Clone	6	**	Clone	6	**
P/C1	1	ns	P/C1	1	ns	P/C1	1	ns	P/C1	1	**
P/C2	1	ns	P/C2	1	ns	P/C2	1	ns	P/C2	1	**
P/C3	1	ns	P/C3	1	ns	P/C3	1	ns	P/C3	1	**
P/C4	1	ns	P/C4	1	**	P/C4	1	ns	P/C4	1	ns
P/C5	1	ns	P/C5	1	**	P/C5	1	**	P/C5	1	ns
P/C6	1	**	P/C6	1	ns	P/C6	1	ns	P/C6	1	**
P/C7	1	ns	P/C7	1	**	P/C7	1	ns	P/C7	1	ns
Resíduo	28		Resíduo	28		Resíduo	28		Resíduo	28	

Tabela 4

Resumo das análises de variância das propriedades físicas em função de clone, tora e da interação clone x tora.

(Summary of the analysis of variance of the physical properties related to clone, log and clone x log interaction)

Densidade básica			Contração radial			Contração tangencial			Contração volumétrica		
Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm
Clone	6	**	Clone	6	ns	Clone	6	ns	Clone	6	ns
Tora	1	**	Tora	1	**	Tora	1	**	Tora	1	**
Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns
Resíduo	28		Resíduo	28		Resíduo	28		Resíduo	28	

** - Significativo ao nível de 1%

ns - não significativo

todos os clones, considerando-se a média geral entre as toras 1 e 2, maiores diferenças de contração radial entre as posições central e externa foram verificadas no clone 7 e a menor diferença no clone 2.

Contração tangencial (CT)

A média geral entre clones para contração tangencial é de 8,9% (Tabela 2). Esse valor é inferior ao registrado por Caixeta (2000), que foi de 9,8%. Considerando-se os valores das duas toras, a maior contração tangencial entre os clones foi observada no clone 4 e a menor no clone 1. Pela análise de variância (Tabela 3) da contração tangencial entre clones e posições, pode-se observar que, tanto para a tora 1 quanto para a tora 2, houve significância ao nível de 1 % de probabilidade para a interação. O desmembramento da interação pode ser observado na Tabela 3. Quando se observa a análise de variância da contração tangencial entre clones e toras, nota-se que as diferenças registradas entre toras são significativas estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4).

Na tora, 1 a contração tangencial da posição intermediária foi 7,6% maior com relação à posição central. A posição externa apresentou contração tangencial 19,3% menor que a posição intermediária. Na tora 2, a posição externa apresentou contração tangencial 6,1% menor em relação à posição central. Considerando-se a média entre as toras 1 e 2, o clone 2 foi o que apresentou a maior diferença entre as posições central e externa e o clone 4 apresentou a menor diferença.

O coeficiente de anisotropia médio entre os clones foi 1,91 (Tabela 2). Ainda na Tabela 2, nota-se que o clone 1 apresentou, em média, menor coeficiente de anisotropia, mostrando que as contrações radial e tangencial desse clone têm valores mais próximos entre si, quali-

ficando-o como o de melhores características para utilização na indústria moveleira, entre os clones testados.

Contração volumétrica (CV)

A média de contração volumétrica entre clones foi de 13,46% (Tabela 2), valor este bem próximo ao registrado por Moura (2000), que foi de 13,68%, trabalhando com clones híbridos coletados na mesma região onde se coletou material para esse trabalho. O clone 4 apresentou a maior contração volumétrica total e o clone 3 a menor entre os clones, considerando-se as duas toras. A análise de variância da contração volumétrica total entre clones e posições (Tabela 3) mostrou que houve significância ao nível de 1% de probabilidade, tanto na tora 1 quanto na tora 2 para a interação. O desdobramento dessas interações pode ser observado na Tabela 3. A análise de variância da contração volumétrica total entre clones e toras (Tabela 4) mostra que a diferença de contração volumétrica total entre toras é significativa estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

Na tora 1, a posição intermediária apresentou contração volumétrica 7,85% maior com relação à posição central. Na posição externa, pode-se notar uma diminuição de 8,03% com relação à intermediária e 0,81% com relação à central. Na tora 2, a posição externa teve contração volumétrica 2,34% menor que a posição central. Na média das toras, o clone 6 apresentou a maior diferença entre a contração volumétrica da posição externa e central e o clone 7 a menor.

Considerações gerais sobre as propriedades físicas

Observando-se os valores das propriedades físicas encontrados para os clones, verifica-se que as médias das contrações dos clones não

apresentam grandes variações em torno da média geral (considerando-se todos os clones). Estes valores sugerem que todos os clones podem ser utilizados para produção de madeira serrada. No entanto, notam-se variações significativas entre os clones, verificando-se os valores percentuais entre as médias obtidas de contração das posições radiais das toras. Considerando-se essas diferenças percentuais dos clones, pode-se destacar os clones 7, 4 e 3 por apresentarem menores oscilações entre as posições radiais estudadas (esses valores não diferem entre si estatisticamente). A menor variação da contração radial da tora mostra uma maior homogeneidade na qualidade da madeira. Entre esses três clones, o clone 7 apresentou maior diferença percentual entre posições radiais para densidade básica. Os três clones citados são os que possuem melhores características físicas entre os clones estudados, sendo que no clone 1, observa-se o menor coeficiente de anisotropia, característica desejável para utilização como madeira serrada.

Com exceção da radial, todas as contrações estudadas tiveram valores mais elevados na tora 1. Isso era esperado, já que na tora 1 está presente a madeira formada durante os primeiros anos de crescimento da árvore, ou seja, período em que a árvore apresenta um crescimento muito acelerado, intensificando diferenças de dimensões dos componentes anatômicos no sentido radial do tronco, causando maiores variações nas propriedades da madeira.

Como pode ser observado na Tabela 5, com exceção das contrações volumétricas, todas as propriedades físicas apresentaram maior percentual de variação na direção medula-casca do que entre as toras no sentido longitudinal. No entanto, o coeficiente de anisotropia apresentou variação maior entre as duas toras, do que entre as posições radiais, com valores bem menores na tora 2, demonstrando melhor comportamento da madeira desta tora durante a secagem.

Tabela 5

Variação radial e longitudinal (%) da densidade básica (DB), contração radial (CR), contração tangencial (CT), coeficiente de anisotropia (CA) e contração volumétrica (CV) da madeira de clones de *Eucalyptus* sp. (Longitudinal and radial variation (%) of the basic density (DB), radial shrinkage (CR), tangential shrinkage (CT), coefficient of anisotropy (CA) and volumetric shrinkage (CV) of *Eucalyptus* sp clones wood)

Propriedades	Variação radial	Variação longitudinal
Densidade Básica	+ 11,12	+ 5,28
Contração Radial	+ 16,19	+ 14,73
Contração tangencial	- 9,88	- 10,64
Coeficiente de Anisotropia	- 25,36	- 23,50
Contração Volumétrica	- 1,64	- 5,42

Propriedades mecânicas

A Tabela 6 apresenta a média dos valores das propriedades mecânicas determinadas nesse trabalho.

Módulo de elasticidade em flexão estática (MOE_f)

A média de MOE_f foi 15044 MPa (Tabela 6). Esse resultado foi superior ao registrado por Lima et al. (2000), em clones de *Eucalyptus*, que foi de 9754 MPa. O clone 7 apresentou a média mais elevada para essa característica, enquanto as menores médias de MOE_f foram observadas no clone 5, considerando-se as duas toras. A análise de variância do MOE_f entre clones e posições (Tabela 7) mostrou que houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, na tora 1 para posição radial e na tora 2 para a interação clone x posição radial (pelo menos um dos clones apresenta MOE_f mais elevado em um determinado ponto e menor em outro com relação aos demais). O desmembramento da interação pode ser observado na Tabela 7. A análise de variância do módulo de elasticidade em flexão entre clones e entre toras (Tabela 8) mostra que as diferenças de MOE_f entre toras são significativas estatisticamente ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 6

Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE_i) em flexão estática, módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras (MOE_c) e resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) em madeira de clones de *Eucalyptus* sp. em função de diferentes posições radiais {central (C), intermediário (I), externo (E)} e longitudinais (tora 1 e tora 2).

(Modulus of rupture (MOR), and modulus of elasticity (MOE_i) in static bending, modulus of elasticity in compression parallel-to-the grain (MOE_c) and strength in compression parallel-to-the grain (f_{co}) in *Eucalyptus* clones wood for different radial position {inner (C), intermediate (I), outer (E)} and longitudinal (log 1 and log 2).-)

Clone	Tora	Flexão estática (MPa)					Compressão paralela às fibras (MPa)										
		MOE _i			MOR		MOE _c			f _{co}							
		C	I	E	Média	C	I	E	Média	C	I	E	Média				
1	1	12622	14126	15647	14132	79	92	101	91	6215	7473	8003	7230	41	48	47	45
	2	15777		16720	16249	95		115	90	6969		8250	7021	48		55	45
2	1	11124	12750	13706	12527	82	92	95	79	6339	6905	7820	6590	42	45	48	40
	2	10439		16956	13698	105		108	87	6754		7646	7395	39		49	44
3	1	11094	13194	14981	13090	71	78	88	97	6092	6540	7139	6964	37	41	43	42
	2	14556		15915	15236	90		96	78	7474		7046	7273	46		46	45
4	1	12055	12028	14465	12849	96	77	89	108	7473	7300	7412	8993	43	43	45	52
	2	15682		16940	16311	94		99	105	7805		8684	7609	47		54	51
5	1	5762	8705	11836	8768	102	88	101	107	6669	6533	7689	7200	37	41	47	44
	2	17622		16171	16897	96		97	93	8138		7669	7260	52		46	46
6	1	11948	13303	18175	14475	61	77	95	97	5719	7169	8931	8244	37	43	54	50
	2	14970		20501	17736	72		105	97	7789		9297	7903	46		57	49
7	1	18702	18667	19612	18994	103	110	112	89	8348	8833	9797	8543	46	50	61	51
	2	18149		21190	19670	93		114	104	7956		9984	8970	34		60	47
	Média				15044				94				7657				47

Tabela 7

Resumo das análises de variância das características mecânicas em função de clone, posição e da interação clone x posição.

(Summary of the analysis of variance of the wood mechanical properties for clone, position and clone x position interaction).

Flexão estática				Compressão paralela às fibras			
MOE _f		MOR		MOE _c		f _{co}	
Tora 1		Tora 1		Tora 1		Tora 1	
Fv	GI Qm	Fv	GI Qm	Fv	GI Qm	Fv	GI Qm
Clone	6 **	Clone	6 **	Clone	6 **	Clone	6 ns
Posição	2 **	Posição	2 **	Posição	2 **	Posição	2 **
Clone x Posição	12 ns	Clone x Posição	12 ns	Clone x Posição	12 ns	Clone x Posição	12 ns
Resíduo	35	Resíduo	35	Resíduo	35	Resíduo	35
Tora 2		Tora 2		Tora 2		Tora 2	
Fv	GI Qm	Fv	GI Qm	Fv	GI Qm	Fv	GI Qm
Clone	6 **	Clone	6 **	Clone	6 ns	Clone	6 ns
P/C1	2 ns	P/C1	2 ns	Posição	2 **	P/C1	2 ns
P/C2	2 ns	P/C2	2 ns	Clone x Posição	12 ns	P/C2	2 ns
P/C3	2 ns	P/C3	2 ns	Resíduo	28	P/C3	2 ns
P/C4	2 ns	P/C4	2 ns			P/C4	2 ns
P/C5	2 **	P/C5	2 ns			P/C5	2 ns
P/C6	2 **	P/C6	2 **			P/C6	2 ns
P/C7	2 **	P/C7	2 **			P/C7	2 **
Resíduo	28	Resíduo	28			Resíduo	28

** - Significativo ao nível de 1%

ns - não significativo

Na tora 1, a posição intermediária apresentou um MOE_f 11,4% maior que a observada na posição central. Na posição externa, pode-se notar um aumento de 16,9% com relação à posição intermediária. Na tora 2, a posição externa teve um MOE_f 16,0% maior que a posição central.

O clone 6, na média das duas toras, foi o que apresentou a maior diferença de MOE_f entre as posições central e externa enquanto o clone 7 foi o que apresentou as menores diferenças.

Módulo de ruptura (MOR)

O MOR médio entre os clones foi 94 MPa (Tabela 6). Esse valor é similar ao verificado por Lima et al. (2000), que foi de 90 MPa. O clone 7 apresentou a média mais elevada para essa característica, enquanto os menores MOR foram os do clone 6, considerando-se as duas toras. A análise de variância do MOR entre clones e posições (Tabela 7) mostrou que houve significância ao nível de 1 % de probabilidade, na tora 1 para posição e na tora 2 para a interação clone x posição. O desmembramento

da interação pode ser observado no Tabela 7. A análise de variância do MOR entre clones e toras (Tabela 8) mostra que as diferenças de MOR entre toras foram significativas estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

Na tora 1, a posição intermediária apresentou MOR 3,5% maior com relação à posição central. Na posição externa, pode-se notar um aumento de 10,2% com relação à posição intermediária. Na tora 2, a posição externa teve um MOR 14,1% maior que a posição central. O clone 6, na média das duas toras, foi o que apresentou a maior diferença de MOR entre as posições central e externa e o clone 5 foi o que teve menores diferenças de MOR entre esses pontos.

Módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras (MOE_c)

A média de MOE_c entre os clones foi 7657 MPa (Tabela 6). Esse resultado é inferior ao apresentado por Caixeta (2000), que foi 9972 MPa. O clone 7 apresentou a média mais elevada para essa característica, enquanto o menor MOE_c foi obtido para o clone 3, considerando-se as duas toras. A análise de variância do MOE_c entre clones e posições (Tabela 7) mostrou que houve significância ao nível de 1% de probabilidade, na tora 1 e na tora 2 para posição radial. A análise de variância do módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras entre clones e toras (Tabela 8) mostra que as diferenças de MOE_c entre toras é significativa estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

A posição intermediária da tora 1 apresenta média geral de MOE_c 15,72% maior que a posição central. Na posição externa, o MOE_c tem média geral 11,9% maior que na posição intermediária. Na tora 2, o MOE_c da posição externa é 10,76% maior que o da posição central. A maior variação de MOE_c entre as posições central e externa, considerando-se as duas toras, foi verificada no clone 6 e a menor diferença entre esses pontos, no clone 4.

Resistência à compressão paralela às fibras (f_{co})

A f_{co} média entre os clones foi 46,6 MPa (Tabela 6). Esse valor está abaixo do apresentado por Moura (2000), que foi de 54,5 MPa. O clone 7 apresentou a média mais elevada para essa propriedade, enquanto o clone 3 apresentou menor f_{co} , considerando-se as duas toras. A análise de variância da f_{co} entre clones e posições (Tabela 7) mostrou que houve significância ao nível de 1% de probabilidade, na tora 1 para posição e na tora 2 para a interação clone x posição. O desmembramento da interação pode ser observado no Tabela 7. A análise de variância da resistência à compressão paralela às fibras entre clones e toras (Tabela 8) mostra que as diferenças de compressão paralela às fibras entre toras não é significativa estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade. Sendo assim, não existe diferenças estatísticas entre as médias de f_{co} verificadas nas toras 1 e 2.

A posição intermediária da tora 1 apresenta média 10% maior que a posição central. Na posição externa, a média geral é 11,4% maior que na posição intermediária. Na tora 2, a resistência à compressão paralela às fibras da posição externa é 15,6% maior que a da posição central. A maior diferença de resistência à compressão paralela às fibras entre as posições central e externa, considerando-se as duas toras, foi verificada no clone 7 e a menor diferença entre esses pontos no clone 3.

Considerações gerais sobre as propriedades mecânicas

De maneira geral, observando-se os resultados das propriedades mecânicas, nota-se que os clones 7 e 6 se destacaram, apresentando valores mais elevados. Também pode-se verificar nesse trabalho que as maiores médias de resistência mecânica são verificadas na tora 2, possivelmente decorrentes da maior homogeneidade das dimensões dos componentes anatômicos presentes nessa tora.

Tabela 8

Resumo das análises de variância das propriedades mecânicas em função de clone, tora e da interação clone x tora. (Summary of the analysis of variance of the mechanical properties for clone, log and clone x log interaction).

Flexão estática			Compressão paralela às fibras								
MOE _f			MOR			MOE _c			f _{co}		
Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm	Fv	Gl	Qm
Clone	6	**	Clone	6	**	Clone	6	**	Clone	6	**
Tora	1	**	Tora	1	**	Tora	1	**	Tora	1	ns
Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns	Clone x Tora	6	ns
Residuo	28		Residuo	28		Residuo	28		Residuo	28	

** - Significativo ao nível de 1%

ns - não significativo

A Tabela 9 mostra que, para todos os testes mecânicos realizados, os valores aumentaram da medula para a casca e da base para o topo. A variação radial é maior que a variação longitudinal para todas as características mecânicas, salientando assim a grande importância dessas variações radiais para o estudo das propriedades mecânicas dessas madeiras.

Tabela 9

Varição percentual do módulo de elasticidade (MOE_f) e módulo de ruptura em flexão estática (MOR), módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras (MOE_c) e resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) na madeira de clones de *Eucalyptus* sp.

(Percentual variation of the modulus of the elasticity (MOE_f) and modulus of the rupture in static bending (MOR), modulus of elasticity in compression parallel-to-the grain (MOE_c) and strength in compression parallel-to-the grain (f_{co}) in *Eucalyptus* sp clones wood)

Característica	Varição radial	Varição longitudinal
MOE _f	23,09	22,1
MOR	14,13	10,0
MOE _c	20,13	8,28
f _{co}	19,03	6,67

Correlações

A densidade básica apresenta correlações significativas com as propriedades mecânicas (Tabela 10), tanto na tora 1 quanto na tora 2, sendo maiores na tora 1. Entre as propriedades físicas, a densidade básica apresentou melho-

res correlações com CR e essa correlação também foi maior na tora 1. Entre as contrações, a radial foi a que melhor se correlacionou com as propriedades mecânicas, principalmente na tora 2.

Considerações sobre a aplicação das madeiras

Os resultados encontrados sugerem que o desdobro tangencial pode não representar a melhor forma de desdobrar toras, já que nesse método, uma maior heterogeneidade na peça, quanto às suas propriedades, é observada, o que proporciona qualidade inferior da madeira em comparação com o método simétrico de desdobro, o qual apresenta maior homogeneidade dentro das peças. Além disso, pode-se observar, pelos resultados apresentados, que a madeira externa do tronco apresenta qualidade superior à madeira mais interna. Sendo assim, as costaneiras retiradas no desdobro devem ser melhor aproveitadas, já que se trata da madeira de melhor qualidade na tora.

Após o desdobro, é interessante que se tenha uma maior homogeneidade da madeira nos lotes para que se possa aumentar a eficiência dos programas de secagem, conseguindo assim uma racionalização da energia necessária para a secagem e, ainda, melhores resultados considerando-se a qualidade da secagem e do produto final.

Tabela 10

Coefficientes de correlação verificados entre propriedades mecânicas e propriedades físicas da madeira de clones de *Eucalyptus* sp.

(Coefficients of correlation verified among mechanical and physical properties of *Eucalyptus* sp clones wood)

Tora 1	DB	CR	CT	CV	MOE _f	MOR	MOE _c
CR	0,478 **						
CT	-0,147 ns	0,098 ns					
CV	0,024 ns	0,500 **	0,677 **				
MOE _f	0,482 **	0,286 *	-0,250 *	0,048 ns			
MOR	0,599 **	0,183 ns	-0,343 **	-0,025 ns	0,621 **		
MOE _c	0,645 **	0,386 **	-0,200 ns	0,179 ns	0,795 **	0,739 **	
f _{co}	0,664 **	0,451 **	-0,086 ns	0,249*	0,670 **	0,662 **	0,842 **
Tora 2	DB	CR	CT	CV	MOE _f	MOR	MOE _c
CR	0,318 *						
CT	-0,098 ns	0,3922 **					
CV	0,0776 ns	0,3942 **	0,7438 **				
MOE _f	0,540 **	0,489 **	-0,211 ns	-0,006 ns			
MOR	0,685 **	0,181 ns	-0,339 *	-0,161 ns	0,553 **		
MOE _c	0,602 **	0,523 **	-0,041 ns	0,036 ns	0,726 **	0,588 **	
f _{co}	0,466 **	0,511 **	-0,162 ns	-0,107 ns	0,597 **	0,577 **	0,844 **

** - 1% de significância

* - 5% de significância

ns - não significativo

Analisando o uso final da madeira, pode-se dizer que todos os sete clones podem ser utilizados para serraria, por apresentarem valores aproximados em todas as características estudadas. No entanto, pode-se otimizar o uso, utilizando-se como referencial para escolha, os valores de contração, coeficiente de anisotropia e resistência mecânica. Desta forma o clone 1 seria o mais indicado.

Optando-se pela utilização dessas madeiras para carvão vegetal, a madeira com melhor qualidade é proveniente dos clones que possuem maior densidade básica (clones 7 e 2).

Quanto à utilização como peças estruturais, os melhores clones são aqueles que apresentam maiores resistências mecânicas (clones 7 e 2), devendo-se considerar o sentido do esforço na peça.

Finalmente, pôde-se deduzir que, baseado-se nas propriedades físicas e mecânicas, os sete clones de *Eucalyptus* apresentam potencial para serem utilizados em condições onde geralmente, ainda se utilizam algumas tradicionais madeiras tropicais brasileiras.

CONCLUSÕES

Para as madeiras de sete clones de *Eucalyptus* plantados experimentalmente na região de Vazante (MG), pôde-se concluir que:

✓ Tanto as propriedades físicas quanto as propriedades mecânicas apresentaram maiores variações na direção da medula para a casca do que da base para o topo das árvores, mostrando a importância do conhecimento das variações radiais na tora, para a classificação de

madeira serrada e conseqüente homogeneização de lotes;

✓ Entre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica foi a única que apresentou correlação estatística alta com as propriedades mecânicas. Esse nível de correlação indicou que a densidade básica pode ser utilizada para estimar a resistência mecânica da madeira com potencial de uso estrutural, de forma mais rápida e precisa;

✓ Os sete clones estudados possuem características para atender a indústria madeireira, sendo que o clone 1 se destaca entre os demais, principalmente por apresentar menor coeficiente de anisotropia, o que resulta em melhor comportamento dessa madeira no momento da secagem.

AUTORES E AGRADECIMENTOS

CLAIR ROGÉRIO DA CRUZ é Pesquisador da Universidade Federal de Lavras e Doutorando na Universidade Federal do Paraná. E-mail: clairogerio@yahoo.com

JOSÉ TARCÍSIO LIMA é Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da UFLA - Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 37 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: jtlima@ufla.br

GRACIELA INÊS BOLZON DE MUNIZ é Professora Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia da UFPR - Universidade Federal do Paraná - Av. Pref. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - Campus II - Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail - gbmunize@barigui.prppg.ufpr.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM**. Denver, 1997. p.23-53. (D143-94. Standards methods of testing small, clear specimens of timber)

CAIXETA, R.P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. Lavras, 2000. 63p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras

LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. Bangor, 1999. 276p. Tese (Doutorado). University of Wales

LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones: the future of *Eucalyptus* for wood products. **Proceedings of an IUFRO Conference**, 2000. Launceston, 2000.

LIMA, T.G. **Variações nos sentidos radial e longitudinal de algumas características das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm**. Viçosa, 1996. 106p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa

MOURA, M.C.O. **Variações em características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. Lavras, 2000. 63p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras

OLIVEIRA, J.T.S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: LELLES, J.G.; SILVA, J.C.; CARVALHO, A.M.M.L., ed. **Anais do Workshop Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto**. Viçosa: UFV / DEF / SIF / IEF, 1999. 72p.

SILVEIRA, V. **Comportamento de clones de *Eucalyptus* em diversos ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamento**. Lavras, 1999. 124p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras

ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337p.