

Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*Wood quality of natural hybrid and species of *Eucalyptus* clonesPaulo Fernando Trugilho<sup>1</sup>, Maria Lúcia Bianchi<sup>2</sup>,  
Sebastião Carlos da Silva Rosado<sup>1</sup> e José Tarcísio Lima<sup>1</sup>**Resumo**

A qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* foi avaliada por meio de suas características físicas, químicas, mecânicas e de dimensões das fibras, visando definir a sua melhor forma de utilização. Os resultados demonstram que existe potencial de uso múltiplo para os clones estudados. Os clones 5, 7, 9, 10 e 11 possuem potencial para a utilização como produto sólido; os clones 1, 2 e 6 para produção de energia e, os clones 3, 8, 12 e 14, para a produção de celulose e papel. Os clones de densidade básica média e de resistência mecânica mediana da madeira podem ser utilizados na construção civil. O clone 11 foi o que apresentou a madeira mais homogênea em relação à posição radial de amostragem dentro do lenho.

**Palavras-Chave:** Qualidade, Madeira, Clone, *Eucalyptus*

**Abstract**

The wood quality of the *Eucalyptus* clones was evaluated by their physical, chemical, mechanical characteristic and fiber dimensions, looking for define their best form of use. The results showed that exist potential of multiple application for the studied clones. Clones 5, 7, 9, 10 and 11 present potential to be used as solid wood; clones 1, 2 and 6 are recommended for energy and; clones 3, 8, 12 and 14 can be used for pulp and paper production. Clones of average wood basic density and median mechanic resistance can be used as building material. Clone 11 presented the most homogeneous wood in terms of its radial variation whitening the stem.

**Keywords:** Quality, Wood, Clone, *Eucalyptus*

**INTRODUÇÃO**

A madeira apresenta-se como uma matéria-prima com possibilidade de utilização para múltiplos produtos e devido às suas peculiaridades intrínsecas não atende plenamente a essa premissa. As variações encontradas no lenho das árvores, entre e dentro de espécies, são de elevada magnitude e dependem fundamentalmente de fatores genéticos e ambientais. Existem diferenças significativas na composição anatômica do lenho, dentro do tronco das árvores e até mesmo entre os tecidos que o constitui.

Assim, a avaliação da qualidade da madeira é fundamental para definir a sua melhor aplicação, visando fornecer produtos adequados às exigências do mercado consumidor. Por exemplo, no processo de obtenção de polpa celulósica, a qualidade do produto final (papel) é altamente dependente das características anatômicas, físicas e químicas de madeira (HILLIS, 1972; BARRICHELO *et al.*, 1983 e TRUGILHO *et al.*, 2004). Como conseqüência, a avaliação da qualidade

da madeira é de suma importância para a indústria papelreira. Outro exemplo clássico é para o uso como fonte de energia, o qual é dependente das características químicas e físicas da madeira.

No Brasil, a madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* vem se constituindo em uma das principais fontes de matéria-prima para as indústrias de base florestal devido à alta capacidade de adaptação em diferentes ambientes.

Existem mais de 700 espécies de eucaliptos em sua área de ocorrência natural, porém, somente um pequeno número tem sido utilizado pela indústria. A diversidade de espécies, interessante sob a ótica do melhoramento florestal e da seleção de materiais, permite considerar o eucalipto como potencial fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de múltiplos produtos. Os fatores intrínsecos de sua madeira obrigam os pesquisadores a avaliações minuciosas, visando conseguir o maior número de informações, as quais auxiliem na maximização ou priorização de certas características da madeira para a obtenção de produtos com a melhor qua-

<sup>1</sup>Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [trugilho@ufla.br](mailto:trugilho@ufla.br); [scrosado@ufla.br](mailto:scrosado@ufla.br); [jtlima@ufla.br](mailto:jtlima@ufla.br)

<sup>2</sup>Professora Doutora do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [bianchi@ufla.br](mailto:bianchi@ufla.br)

lidade possível (GONZAGA *et al.*, 1983).

Além de fornecer a matéria-prima necessária para a produção de polpa celulósica, o eucalipto também pode ser utilizado na construção civil, fabricação de móveis e obtenção de carvão (TURNBULL, 1999 e KIFANISAHBAN *et al.*, 1996). Além disso, o estudo qualitativo e quantitativo de seus constituintes químicos pode levar à obtenção de vários outros produtos tais como as resinas (BENAR *et al.*, 1999 e SANTOS e CURVELO, 1999), compósitos (CARASCHI e LEÃO, 1999), adesivos (PIMENTA *et al.*, 1997), insumos farmacêuticos (QI e SNYDER, 1991), xilitol (PARAJO *et al.*, 1997), óleos essenciais (SINGH e UPADHYAY, 1993) e outros. Segundo Hillis (1991) o reconhecimento das características físicas, químicas e anatômicas da madeira das várias espécies de eucaliptos é importante para uma melhor definição do seu aproveitamento comercial.

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar características físicas, químicas, mecânicas e de dimensões de fibras da madeira de clones de *Eucalyptus* spp, visando classificar e indicar aplicações mais adequadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Amostragem dos clones de *Eucalyptus* spp

Foram avaliados 15 clones de *Eucalyptus* spp aos 5,8 anos de idade, sendo utilizadas duas árvores (A e B) de cada clone, totalizando 30 árvores amostra. Os clones são distribuídos da seguinte forma: cinco da espécie de *Eucalyptus camaldulensis*, cinco de *E. urophylla*, dois híbridos de *E. camaldulensis* com *E. tereticornis* e três híbridos de *E. grandis* com *E. urophylla*. Os clo-

nes híbridos foram gerados a partir de árvores fenotipicamente superiores de plantios comerciais com semente de Rio Claro, sendo provenientes de teste clonal em espaçamento de 10 x 4 m, em regime de sistema agrosilvopastoril da Companhia Mineira de Metais, na unidade agroflorestral, localizada no município de Vazante, MG. A Tabela 1 apresenta a identificação, o local de coleta, a espécie, os valores médios de altura e diâmetro de tronco a altura de 1,30 m (DAP) dos clones avaliados.

Após a seleção, as árvores foram abatidas e amostradas conforme a Figura 1. Em cada porcentagem da altura do tronco foi retirado um torete do lenho de 30 cm de espessura, os quais foram transformados em cavacos, misturados e homogeneizados, para, assim, constituir a amostra composta representativa da árvore. Esta amostra composta foi usada para as análises químicas e avaliação das dimensões das fibras. Um torete de 60 cm de espessura na altura do DAP foi utilizado nas análises físicas e de resistência mecânica da madeira. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras, com as amostras do lenho climatizadas a 12% de umidade conforme metodologia da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1997).

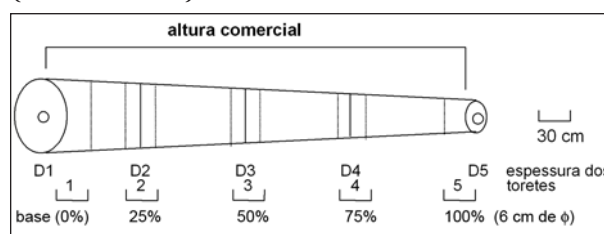


Figura 1. Esquema da amostragem para avaliação da madeira. (Scheme of sampling for wood evaluation).

Tabela 1. Identificação e local de coleta dos clones de *Eucalyptus* spp avaliados. (Identification and collect place of the evaluated *Eucalyptus* spp clones)

Clone	ID	Local da Coleta	Espécie/Híbrido	Altura (m)	DAP (cm)
06	1	Q3 – RI	<i>E. camaldulensis</i>	25,35	28,39
13	2	Q3 – RI	<i>E. urophylla</i>	27,35	28,10
44/88	3	Q3 – RI	<i>E. urophylla</i>	25,30	26,03
10	4	Q3 – RI	<i>E. camaldulensis</i>	28,15	29,30
62/JC	5	Pesq. 94 – BS	<i>E. camaldulensis</i> com <i>E. tereticornis</i>	24,55	28,51
314/74	6	Pesq. 94 – BS	<i>E. camaldulensis</i>	23,30	27,70
181/74	7	Pesq. 94 – BS	<i>E. camaldulensis</i>	24,75	29,55
38/JC	8	Pesq. 94 – BS	<i>E. urophylla</i>	22,35	26,00
58	9	Q4 – RI	<i>E. camaldulensis</i> com <i>E. tereticornis</i>	31,00	28,45
319/74	10	Q4 – RI	<i>E. camaldulensis</i>	24,30	29,25
280/75	11	Q4 – RI	<i>E. grandis</i> com <i>E. urophylla</i>	29,20	28,13
026/JC	12	Q4 – RI	<i>E. urophylla</i>	27,75	29,90
257/75	13	Q4 – RI	<i>E. grandis</i> com <i>E. urophylla</i>	26,90	27,70
016/JC	14	Q4 – RI	<i>E. urophylla</i>	28,15	24,75
299/75	15	Q4 – RI	<i>E. grandis</i> com <i>E. urophylla</i>	25,35	28,20

ID = identificação dos clones, Q3 e Q4 – RI = Quadras 3 e 4 da fazenda Riacho, respectivamente, Pesq. 94 – BS = pesquisa 94 da fazenda Bom Sucesso.

As características físicas da madeira (densidade básica e retratibilidade) foram determinadas em duas posições radiais dos toretes (interna e outra mais externa). As dimensões tangencial e radial dos corpos-de-prova foram medidas com paquímetro digital (sensibilidade de 0,01 mm), em locais previamente estabelecidos e demarcados. O volume dos corpos-de-prova foi determinado pelo método de imersão, pelo deslocamento de mercúrio com sua temperatura monitorada para a correção da sua densidade.

Os ensaios de resistência mecânica da madeira (flexão estática e de compressão paralela às fibras) foram realizados em uma máquina de ensaio EMIC linha DL 30000, utilizando um programa de automação de ensaio Tesc versão 1.08. Nos testes de flexão e compressão foram utilizados corpos-de-prova com dimensões de 25x25x460 e 25x25x100 mm, respectivamente.

Na análise química da madeira foram determinados os teores de lignina Klason (GOMIDE e DEMUNER, 1986), holocelulose (BROWNING, 1963), celulose (KENNEDY *et al.*, 1987), extrativos totais e cinzas, além de solubilidade em NaOH 1% (ABTCP, 1974). O teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria, tendo sido utilizada a equação descrita por Golschimid (1971). A lignina total foi tomada como sendo a soma das ligninas solúvel e insolúvel.

Para a análise da celulose e holocelulose utilizou-se a madeira livre de extrativos. A preparação das amostras foi feita segundo a norma ASTM (1966), utilizando etanol/tolueno como solventes ao invés de etanol/benzeno.

O teor de hemiceluloses foi determinado por diferença entre o teor de holocelulose e de celulose. Os teores de celulose e hemiceluloses foram realizados com uma repetição.

O macerado foi obtido pelo método de Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987). Utilizou-se como solução macerante a água oxigenada 30% e o ácido acético glacial, na proporção 1:1. Foram preparadas três lâminas histológicas por árvore com o material dissociado e corado. Mediu-se o comprimento (40x) e a espessura da parede e o diâmetro do lume (80x) sob microscópio de luz, sendo 50 fibras/árvore em um total de 1500 fibras.

### Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com classificação cruzada com interação para a densidade básica, contração radial, tangencial e volumétrica, resistência à compres-

são paralela às fibras e o módulo de elasticidade do ensaio de compressão paralela às fibras com 4 repetições. Utilizaram-se duas posições radiais (mais interna e mais externa) de amostragem no tronco. O modelo estatístico associado a esse tipo de experimento foi:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + CP_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

onde,  $\mu$  é a média geral;  $C_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo nível do fator clone;  $P_j$  é o efeito fixo do  $j$ -ésimo nível do fator posição radial de amostragem;  $CP_{ij}$  é o efeito da interação entre o  $i$ -ésimo nível de clone e o  $j$ -ésimo nível de posição radial de amostragem e;  $e_{ijk}$  é o erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ .

Delineamento inteiramente casualizado para as características químicas (teor de cinzas, extrativos totais e lignina, solúvel e insolúvel em ácido sulfúrico, e solubilidade em soda 1%), dimensões das fibras e módulo de ruptura e módulo de elasticidade do ensaio de flexão com 4 repetições, exceto para a solubilidade da madeira em soda a 1%, a qual se utilizou somente 2 repetições. O modelo estatístico associado a esse tipo de experimento foi:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij} \quad (2)$$

onde,  $\mu$  é a média geral;  $C_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo nível do fator clone e;  $e_{ij}$  é o erro aleatório associado à observação  $Y_{ij}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise da variância para o delineamento experimental inteiramente casualizado com classificação cruzada com interação, onde se avaliou o efeito de clone e da posição radial da amostragem. Observa-se para todas as características avaliadas, que os efeitos de clone, posição radial de amostragem e a interação (clone x posição radial) foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F. Este resultado foi diferente do encontrado por Cruz (2000) com sete clones de eucalipto e similar ao observado por Xavier (2001) com 18 clones aos 63 meses de idade. A interação significativa indica que existe dependência entre os fatores clone e posição radial de amostragem. Dessa forma, optou-se em fazer o desdobramento da interação e avaliar o efeito de clone dentro de posição radial de amostragem e vice-versa.

O desdobramento e a avaliação do efeito de clone dentro de posição radial de amostragem visam promover diferenciação existente entre os clones e a classificação daqueles mais similares por posição radial de amostragem. Para isso foi utilizado o teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. A Tabela 3 apresenta os resul-

tados médios das características físicas e o ensaio de compressão paralela às fibras e o teste de comparação múltipla aplicado. Os resultados observados estão de acordo com os obtidos por Caixeta (2000), Moura (2000) e Xavier (2001). Foram observados 4, 3 e 2 grupos similares para a densidade básica e contração volumétrica, contração tangencial e coeficiente de anisotropia da madeira nas duas posições radiais de amostragem, respectivamente. A contração radial, o módulo de elasticidade e a resistência à compressão paralela às fibras apresentaram, 3 e 5, 4 e 6 e 3 e 4 grupos na posição radial de amostragem mais interna e externa, respectivamente.

Considerando a instabilidade dimensional da madeira os clones 5, 7, 9, 10 e 11 destacam-se nas duas posições radiais do tronco, com o clone 11 apresentando elevado coeficiente de anisotropia. Os resultados indicam que os clones possuem potencial para produção de madeira para a utilização como produto sólido.

O desdobramento e avaliação do efeito da posição radial de amostragem dentro de clone para verificar a homogeneidade das características pesquisadas na madeira. Foi realizado o teste de Tukey (5% de probabilidade), identificado pelas letras minúsculas e em negrito (Tabela 3). O clone número 11 apresentou a madeira mais homogênea com efeito da posição radial de amostragem não significativo para todas as características avaliadas.

Com relação à densidade básica da madeira os clones podem ser classificados como de baixa a média densidade, devido, provavelmente, ao fator da idade, pois as árvores são bem jovens. Em relação à resistência à compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade a madeira pode ser classificada como de resistência mediana, o que sugere a possibilidade de sua utilização na construção civil.

Observa-se, ainda (Tabela 3), que a densidade básica da madeira foi maior na posição mais externa (0,534 g/cm<sup>3</sup>) em relação à interna (0,492 g/cm<sup>3</sup>). Xavier (2001) observou decréscimo da

densidade básica de 0,515 g/cm<sup>3</sup> para 0,476 g/cm<sup>3</sup> no sentido externo para o interno. O inverso ocorreu com a contração volumétrica, contração tangencial e o coeficiente de anisotropia (CT/CR). Os resultados indicam que a madeira de maior e menor instabilidade dimensional está localizada mais interna e externa ao lenho, respectivamente. Segundo a literatura a parte mais interna do lenho é caracterizada pela madeira juvenil e a mais externa pela madeira adulta. O lenho juvenil é formado nos primeiros anos na região próxima da medula (KOGA, 1988), sua duração é variável, podendo ocupar 85% do tronco em uma árvore de 15 anos e cerca de 10% aos 30 anos. Dessa forma, é prematuro afirmar que com idade de 5,8 anos estes clones já estejam adentrando a fase de madeira madura. Contudo, é prudente reconhecer que a madeira já começa a dar sinais de mudança e entrar em fase inicial de diferenciação.

Somente a contração radial foi, de modo geral, maior na posição radial mais externa, o que não era esperado. Verifica-se que os coeficientes de variação experimentais foram baixos, indicando a eficiência do delineamento experimental adotado.

A Tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado para as características químicas e o módulo de elasticidade e de ruptura do ensaio de flexão estática da madeira.

Verifica-se que o efeito de clone foi significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F para todas as características avaliadas, exceto para o módulo de elasticidade e de ruptura do ensaio de flexão estática (Tabela 4).

Os valores médios das características químicas e o módulo de elasticidade e de ruptura do ensaio de flexão estática da madeira dos clones e o teste de comparação múltipla realizado (Tabela 5) estão de acordo com os encontrados por Caixeta (2000) e Moura (2000). Os coeficientes de variação experimentais, de baixa magnitude, indicam a eficiência do delineamento experimental.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância do experimento inteiramente casualizado com classificação cruzada com interação. (Summary of the variance analysis of the completely randomized design with crossed classification with interaction)

FV	GL	Quadrado Médio						
		DB	CV	CT	CR	CT/CR	MOEcp	RCP
Clone (C)	14	0,017237*	19,82907*	9,294519*	3,061359*	0,186930*	3994393*	219,919*
Posição (P)	1	0,052208*	12,53887*	51,75847*	9,718521*	6,552013*	30984406*	902,0083*
C x P	14	0,002471*	8,298244*	7,215293*	1,82928*	0,112088*	1104737*	54,31191*
Resíduo	90	0,000579	0,602085	0,606329	0,191113	0,047591	235305,5	13,63056
<b>Total</b>	<b>119</b>							

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; posição radial; DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); CV, CT, CR = contração volumétrica, tangencial e radial (%), respectivamente; CT/CR = coeficiente de anisotropia; MOEcp = módulo de elasticidade do ensaio de compressão paralela as fibras (MPa); RCP = resistência a compressão paralela as fibras (MPa); \* significativo a 1% de probabilidade.



**Tabela 3.** Valores médios das características físicas e ensaio de compressão paralela às fibras nos clones. (Average values of the physical characteristics and compression parallel to fiber testing in the clones)

Clone	PR	DB	CV	CT	CR	CT/CR	MOEcp	RCP
1	Interna	0,590Aa	19,76Aa	14,18Aa	6,09Aa	2,33Aa	6847,98Ba	52,00Aa
1	Externa	0,593aa	16,16ab	8,15ab	6,13aa	1,33bb	7695,18db	52,50ba
2	Interna	0,473Ca	13,19Da	8,12Ca	4,47Ba	1,82Ba	7839,19Aa	50,50Aa
2	Externa	0,548bb	15,06bb	8,73aa	5,95bb	1,47bb	8839,57bb	57,50ab
3	Interna	0,471Ca	13,56Da	9,45Ba	4,34Ba	2,19Aa	6846,45Ba	41,75Ba
3	Externa	0,561bb	14,73bb	9,00aa	5,48bb	1,65ab	8375,04cb	53,25bb
4	Interna	0,594Aa	16,59Ba	10,89Ba	5,72Aa	1,92Ba	8115,96Aa	52,50Aa
4	Externa	0,621aa	14,31bb	8,42ab	5,00cb	1,69aa	9616,79ab	61,00ab
5	Interna	0,453Da	14,73Ca	9,73Ba	4,29Ba	2,27Aa	6399,79Ca	43,00Ba
5	Externa	0,485ca	11,02db	6,08cb	4,32da	1,41bb	7141,53eb	46,75ca
6	Interna	0,527Ba	13,71Da	9,43Ba	4,41Ba	2,26Aa	5503,55Da	37,75Ca
6	Externa	0,517ca	12,83ca	8,14ab	4,67ca	1,74ab	8398,98cb	56,00ab
7	Interna	0,501Ca	15,13Ca	9,56Ba	5,73Aa	1,67Ba	7037,81Ba	49,25Aa
7	Externa	0,505ca	11,34db	6,15cb	4,57cb	1,34bb	7746,44db	49,75ba
8	Interna	0,454Da	12,76Da	7,99Ca	3,90Ca	2,05Aa	6752,65Ba	45,75Ba
8	Externa	0,544bb	15,27bb	9,36ab	6,49ab	1,45bb	8134,00cb	54,75bb
9	Interna	0,432Da	12,93Da	7,50Ca	4,05Ca	1,85a	6726,29Ba	43,50Ba
9	Externa	0,519cb	13,43ca	7,72ba	5,21cb	1,49bb	7791,30db	50,25bb
10	Interna	0,501Ca	12,68Da	7,56Ca	4,48Ba	1,71Ba	7351,28Ba	51,25Aa
10	Externa	0,550bb	12,65ca	7,16ba	5,04ca	1,42ba	8296,72cb	52,75ba
11	Interna	0,417Da	12,57Da	7,97Ca	3,71Ca	2,15Aa	5690,10Da	33,75Ca
11	Externa	0,410da	11,72da	7,15ba	3,58ea	1,99aa	5903,77fa	36,75da
12	Interna	0,523Ba	15,88Ba	9,84Ba	4,94Ba	2,01Aa	6902,80Ba	45,25Ba
12	Externa	0,565bb	16,14aa	9,85aa	6,28ab	1,57ab	8468,78cb	53,00bb
13	Interna	0,480Ca	14,73Ca	9,98Ba	4,72Ba	2,13Aa	6752,87Ba	44,75Ba
13	Externa	0,517cb	14,90ba	9,04aa	5,72bb	1,59ab	6794,81ea	42,00da
14	Interna	0,481Ca	17,19Ba	10,37Ba	5,84Aa	1,81Ba	7240,02Ba	40,50Ba
14	Externa	0,556bb	15,18bb	9,25ab	5,77ba	1,61aa	7044,15ea	44,25ca
15	Interna	0,492Ca	14,39Ca	9,98Ba	4,82Ba	2,07Aa	6803,96Ba	45,00Ba
15	Externa	0,523ca	15,36ba	8,66ab	5,85bb	1,48bb	7807,75db	48,25ca
Média	Interna	0,492	14,65	9,50	4,77	2,02	6854,05	45,10
Média	Externa	0,534	14,01	8,19	5,34	1,55	7870,32	50,58
CV		4,69	5,42	8,80	8,66	12,24	6,59	7,72

PR = posição radial; DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); CV, CT, CR = contração volumétrica, tangencial e radial; CT/CR = coeficiente de anisotropia; MOEcp = módulo de elasticidade do ensaio de compressão paralela às fibras (MPa); RCP = resistência à compressão paralela as fibras (MPa); CV = coeficiente de variação experimental (%). Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna (maiúscula para PR interna e minúscula para PR externa) não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott e, letras minúsculas em negrito (para posição radial dentro de cada clone), pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância do experimento inteiramente casualizado para as características químicas, módulo de elasticidade e de ruptura da madeira. (Summary of the variance analysis of the completely randomized design for wood chemicals characteristics, modulus of elasticity and modulus of rupture).

FV	GL	Quadrado Médio							
		LIGIns	LIGSol	LIGTot	TET	TCz	NaOH <sup>1</sup>	MOEf	MDR
Clone	14	43,52104*	0,541484*	43,36379*	8,520589*	0,005309*	5,056584*	1991357 <sup>ns</sup>	404,031 <sup>ns</sup>
Resíduo	45	1,192827	0,163705	1,135192	0,253722	0,000205	0,1551331	854880,2	191,5667
Total	59								

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; \* e ns = significativo e não significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F; LIGIns, LIGSol e LIGTot = teor de lignina Klason insolúvel, solúvel e total (solúvel + insolúvel); TET = teor de extrativos totais; TCZ = teor de cinzas na madeira; NaOH = solubilidade em soda a 1%; MOEf = módulo de elasticidade do ensaio de flexão estática (MPa); MOR = módulo de ruptura à flexão estática (MPa). <sup>1</sup> Para o NaOH o GL do resíduo é 15 e o GL do total é 29.

Os clones foram agrupados em 5, 2, 5, 5, 4 e 4 grupos para os teores de lignina insolúvel, solúvel e total, teor de extrativos totais, de cinzas e solubilidade em soda a 1%, respectivamente. A menor quantidade de grupos para o teor de lignina solúvel sugere a maior influência do tratamento químico com ácido sulfúrico, do que o efeito de clone.

Os clones 1, 2 e 6 apresentaram madeira com maiores teores de lignina insolúvel e total e, assim, mostram potencial para a produção de energia. Os clones 3, 8, 12 e 14 apresentaram os maiores teores de celulose e podem ser potenciais para a produção de celulose e papel. Os clones 8 e 12 foram os que apresentaram os menores teores de lignina insolúvel e total.

**Tabela 5.** Valores médios para as características químicas e ensaio de flexão estática na madeira. (Average for the chemical characteristics and static bending test in wood)

Clone	Teor de (%)								MOEf	MDR
	LIGIns	LIGSol	LIGTot	TET	TCZ	NaOH	HEMI	CEL		
1	31,87a	3,25a	35,12a	7,26a	0,24b	23,59a	19,63	54,59	6451,40a	103,50a
2	30,41a	3,41a	33,82a	2,60e	0,22c	21,51c	18,52	57,00	6556,70a	112,00a
3	28,74b	3,66a	32,40b	3,51d	0,26b	20,24d	15,46	59,00	6736,09a	102,75a
4	28,99b	3,39a	32,38b	3,92d	0,21c	18,28e	15,48	57,25	7752,55a	122,00a
5	27,89b	3,50a	31,40b	5,50c	0,24b	21,42c	21,19	56,00	5266,72a	93,25a
6	31,32a	2,72b	34,04a	5,30c	0,16d	21,30c	16,42	54,56	5698,41a	93,50a
7	26,14c	3,03a	29,17c	6,11b	0,23c	24,63a	25,05	56,99	6420,90a	110,75a
8	23,97d	3,40a	27,36d	5,16c	0,24b	23,98a	20,35	58,80	6308,14a	100,25a
9	24,96d	2,88b	27,83d	4,20d	0,24b	22,71b	24,44	56,41	6083,17a	98,75a
10	25,88c	2,64b	28,52d	3,74d	0,23c	21,31c	25,10	54,76	7152,72a	118,25a
11	29,18b	2,29b	31,47b	3,50d	0,27b	21,89c	19,17	54,07	4951,95a	82,75a
12	18,66e	3,29a	21,96e	2,52e	0,21c	20,17d	19,91	57,32	6669,50a	103,75a
13	26,09c	3,08a	29,17c	2,47e	0,24b	21,26c	19,93	56,61	6408,71a	102,25a
14	27,07c	2,96b	30,03c	3,13e	0,22c	21,85c	14,76	60,76	6622,83a	98,75a
15	26,25c	3,16a	29,41c	2,67e	0,33a	21,26c	25,81	51,60	6973,41a	109,50a
Média	27,16	3,11	30,27	4,11	0,24	21,69	20,08	56,38	6403,55	103,47
CV	4,02	13,01	3,52	12,27	6,08	1,82	18,39	4,02	14,44	13,38

LIGIns, LIGSol e LIGTot = teor de lignina Klason insolúvel, solúvel e total (solúvel + insolúvel); TET = teor de extrativos totais; TCZ = teor de cinzas na madeira; NaOH = solubilidade em soda a 1%; HEMIC e CEL = teor de hemiceluloses e de celulose na madeira; MOEf = módulo de elasticidade do ensaio de flexão estática (MPa); MOR = módulo de ruptura à flexão estática (MPa); CV = coeficiente de variação experimental (%). Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

Observa-se, ainda, (Tabela 5) que o teor de hemiceluloses variou de 14,76% a 25,81% (Clones 14 e 15), a celulose de 51,60% a 60,76% (Clone 15 e 14), os extrativos totais de 1,98% a 7,95% (Clone 13 e 9), as cinzas de 0,16% a 1,17% (Clone 6 e 2) e a solubilidade da madeira em soda a 1% de 18,28% a 24,62% (clone 4 e 7). Esta solução extrai ou dissolve carboidratos de baixa massa molecular, principalmente hemiceluloses e celulose degradada. Assim, a solubilidade da madeira pelo NaOH 1% pode indicar o grau de degradação da celulose pelo ataque de fungos, aquecimento, luz, oxidação, etc. Os teores de celulose e hemiceluloses não entraram na análise de variância, pois foram determinados com somente uma repetição cada.

A Tabela 6 apresenta o resumo da análise da variância do experimento inteiramente casualizado para as dimensões das fibras. Observa-se que o efeito de clone foi significativo em nível de 1% de probabilidade, indicando a existência de diferença estatística entre os mesmos.

Os valores médios das dimensões das fibras e o teste de agrupamento de Scott-Knott indicam que o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras os clones foram separados em 2, 3, 4 e 3 grupos, respectivamente (Tabela 7). As dimensões das fibras dos clones de *Eucalyptus* estão no intervalo encontrado para o gênero, considerado madeira de fibra curta, sendo que a espessura da parede foi um pouco menor que o relatado por Lima (1999) e Cruz (2000). As fibras da madeira dos clones são de baixo comprimento (0,93 mm), maior largura (15,76  $\mu$ m), diâmetro de lume (11,18  $\mu$ m) e pequena espessura da parede celular (2,29  $\mu$ m), características da madeira juvenil. Segundo Koga (1988) o lenho juvenil apresenta algumas características tais como paredes celulares mais finas, menor diâmetro celular, menor comprimento de fibra e vasos, menos celulose e glucomanas, mais xilanas e lignina, como também maiores proporções de fibras e menores proporções de vasos.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância do experimento inteiramente casualizado para as dimensões das fibras. (Summary of the variance analysis of the completely randomized design for wood fiber dimensions)

FV	GL	Quadrado Médio			
		Comprimento (mm)	Largura ( $\mu$ m)	Diâmetro do Lume ( $\mu$ m)	Espessura da Parede ( $\mu$ m)
Clone	14	0,023499*	3,925221*	4,368885*	0,086647*
Resíduo	45	0,003837	0,391424	0,464018	0,013067
Total	59				

\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 7.** Valores médios das dimensões das fibras dos clones avaliados. (Average of the wood fiber dimensions of the evaluated clones).

Clone	Comprimento (mm)	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do Lume ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da Parede ( $\mu\text{m}$ )
1	0,82b	14,56c	9,93d	2,31b
2	0,93a	15,02c	10,19d	2,42b
3	0,98a	16,68b	12,12b	2,28b
4	1,02a	15,25c	10,98c	2,14c
5	0,86b	15,48c	11,21c	2,13c
6	0,80b	14,68c	9,42d	2,63a
7	0,93a	14,42c	9,76d	2,33b
8	0,79b	16,06b	11,12c	2,47a
9	1,02a	17,90a	13,26a	2,32b
10	0,96a	15,22c	11,01c	2,11c
11	0,94a	16,38b	11,96b	2,21c
12	0,98a	17,12a	12,36b	2,38b
13	0,98a	16,31b	11,61c	2,35b
14	0,91a	15,94b	11,61c	2,17c
15	0,98a	15,47b	11,20c	2,14c
Média	0,93	15,76	11,18	2,29
CV	9,96	7,04	10,55	7,63

CV = coeficiente de variação experimental (%). Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

Os clones estudados apresentaram potencial para uso múltiplo devido à alta variabilidade observada entre os mesmos.

Os clones 5, 7, 9, 10 e 11, devido à baixa instabilidade dimensional da madeira, possuem potencial para a utilização como produto sólido.

O clone 11 foi o que apresentou a madeira mais homogênea, em relação à posição radial de amostragem dentro do lenho, para todas as características avaliadas.

Os clones 1, 2 e 6 são mais indicados para o uso energético, pois apresentam elevado teor de lignina.

Os clones 3, 8, 12 e 14, devido ao maior teor de celulose e menor teor de lignina, possuem potencial para a produção de celulose e papel.

Os clones 1, 4, 10 e 12, por apresentarem densidade básica média e resistência mecânica mediana, podem ser utilizados na construção civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. Normas técnicas ABCP: M 3/89, M 11/77 e M 5/68. São Paulo: ABTCP, 1974.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM standards. Easton, 1997. p.23-53. (D 143-94 Standards methods of testing small clear specimens of timber)

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; BAZANELLI, A.V. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, 1983, São Paulo. Anais. São Paulo: ABTCP, 1983. p.112-125.

BENAR, P.; GONÇALVES, A.R.; MANDELLI, D.; SCHUCHARDT, U. *Eucalyptus* organosolv lignin: study of the hydroxymethylation and use in resols. *Bioresource Technology*, Essex, v.68, n.1, p.11-16, 1999.

BROWNING, B.L. *The chemistry of wood*. New York: Interscience, 1963. p.574.

CAIXETA, R.P. *Propriedades da madeira de Eucalyptus: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada*. 2000. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Mechanical properties of lignocellulosics/bioplantc composites. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF LIGNIN AND OTHER WOOD COMPONENTS, 6, 1999, Guaratinguetá. Anais. Guaratinguetá, 1999. p.3.

CRUZ, C.R. *Caracterização da madeira de clones de Eucalyptus para a utilização na indústria madeireira*. 2000. 64p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

- GOLSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** New York: John Wiley, 1971. p.241-266.
- GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.
- GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; BUSNARDO, C.A.; GOMIDE, J.L.; SCHMIDT, C. Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3, 1983, São Paulo. **Anais.** São Paulo: ABTCP, 1983. p.7-29.
- HILLIS, W.E. *Eucalypts: chemistry, uses.* **Appita Journal**, Victoria, v.44, n.4, p.239-244, 1991.
- HILLIS, W.E. Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry. **Appita Journal**, Victoria, v.26, n.2, p.113-122, 1972.
- KENNEDY, J.F.; PHILLIPS, G.O.; WILLIAMS, P.A. **Wood and cellulose.** Chichester: Ellis Horwood, 1987. 664p.
- KIFANISAHBAN, F.; BELKBIR, F.L.; ZOULALIAN, A. Determination of kinetic parameters of slow pyrolysis of Moroccan *Eucalyptus* wood. **Thermochemica Acta**, Amsterdam, v.289, n.1, p.33-40, 1996.
- KOGA, M.E.T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M.L.O. (eds.) **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica.** 2.ed. São Paulo: IPT, 1988. p.15-44.
- LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus*.** 1999. 276p. Tese (Doutorado) - University of Wales, Bangor, 1999.
- MOURA, M.C.O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*.** 2000. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- PARAJÓ, J.C.; DOMINGUEZ, H.; DOMINGUEZ, J.M. Xylitol production from *Eucalyptus* wood hydrolysates extracted with organic solvents. **Process Biochemistry**, London, v.32, n.7, p.599-604, 1997.
- PIMENTA, A.S.; VITAL, B.R.; FUJIWARA, F.Y. Wood adhesives from *Eucalyptus* tar and creosote. **Química Nova**, São Paulo, v.20, n.4, p.365-371, 1997.
- QI, C.; SNYDER, J.K. New phloroglucinol derivatives with phosphodiesterase inhibitory activity from the leaves of *Eucalyptus robusta*. **Zeitschrift für Naturforschung B**, Tubingen, v.46, n.9, p.1275-1277, 1991.
- RAMALHO, R.S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- SANTOS, F.; CURVELO, A.A.S. Kraft lignin in the synthesis of modified novolac resins. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF LIGNIN AND OTHER WOOD COMPONENTS, 6, 1999, Guaratinguetá. **Anais.** Guaratinguetá, 1999. p.17.
- SINGH, G.; UPADHYAY, R.K. Essential oils: a potent source of natural pesticides. **Journal of Scientific and Industrial Research**, New Delhi, v.52, n.10, p.676-683, 1993.
- TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; GOMIDE, J.L.; SCHUCHARDT, U. Classificação de clones de *Eucalyptus* sp visando a produção de polpa celulósica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.895-899, 2004.
- TURNBULL, J.W. *Eucalypt plantations.* **New Forests**, Dordrecht, v.17, n.1-3, p.37-52, 1999.
- XAVIER, K.G. **Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores RAPD, e variações nas propriedades da madeira.** 2001. 107p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2001.

Recebido em 31/05/2006  
Aceito para publicação em 08/03/2007