

AVALIAÇÃO DE ALGUMAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*¹

Pedro Nicolau Serpa², Benedito Rocha Vital³, Ricardo Marius Della Lucia³ e Alexandre Santos Pimenta³

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi determinar o rendimento em madeira serrada, bem como a massa específica, contração volumétrica, resistência à flexão estática, resistência à compressão paralela, qualidade da linha de cola e trabalhabilidade das madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. Foram colhidas três árvores de cada uma destas espécies, com idades aproximadas de 50, 40 e 40 anos, respectivamente. De cada árvore foram retiradas três toras, sendo uma na base, uma no meio e uma no topo do fuste. Foram analisadas as variações em algumas propriedades, no sentido medula-casca e no sentido longitudinal. Os resultados mostraram que todas as propriedades físicas e mecânicas variaram dentro da árvore nos sentidos radial e longitudinal. A densidade básica e as resistências à flexão e à compressão aumentaram na direção medula-casca, enquanto a contração volumétrica diminuiu. Portanto, para obtenção de madeiras mais densas, mais estáveis e com maior resistência à flexão e à compressão, é necessária a colheita de árvores mais velhas. Observou-se ainda que as toras da porção média do fuste, de modo geral, apresentaram menores valores para todas as propriedades determinadas do que as da base e do topo. A resistência da linha de cola e a porcentagem de falha na madeira para madeira juvenil e adulta apresentaram pouca diferença em todas as posições no fuste. No ensaio de confecção de espiga e furação para espiga, todas as espécies apresentaram resultados satisfatórios, sem ocorrência de defeitos.

Palavras-chave: Madeira de eucalipto, móveis de eucalipto e madeira serrada.

EVALUATION OF SOME PROPERTIES OF *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* AND *Pinus elliottii*

ABSTRACT - This work aimed to determine sawn wood yield, as well as density, volumetric shrinkage, static bending and compression parallel to grain strength, glue line quality and machining for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood. Three trees of each species, with approximate ages of 50, 40 and 40 years, respectively, were cut into logs on the base, middle and top. Property variations were analyzed in the pith-bark and longitudinal directions. The results showed that all the physical and mechanical properties varied inside the tree in the radial and longitudinal directions. Basic density, bending and compression strength increased in the pith-bark direction, while volumetric shrinkage decreased. Therefore, for obtaining denser, more stable wood with larger bending and compression strength it is necessary to harvest older trees. Considering the variations in the longitudinal direction, it was observed that logs from the medium portion of the tree presented smaller values than those from the base and from the top, in all the analyzed properties. Glue line strength and wood failure presented little differences in relation to adherence among juvenile wood and mature wood in all the positions. In the and mortise-and-tenon test, all the species showed satisfactory results, without occurrence of defects.

Key words: *Eucalyptus* wood, *eucalyptus* wood furniture and sawn wood.

¹ Recebido para publicação em 29.1.2002.

Aceito para publicação em 9.9.2003.

² Mestrado em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <serpa@epagri.rct-sc.br>; ³ Professor de Tecnologia da Madeira, Departamento de Engenharia Florestal da UFV, <bvital@ufv.br>; <rdlucia@ufv.br>; <apimenta@ufv.br>.

1. INTRODUÇÃO

O potencial do eucalipto como madeira serrada não é novidade. Diversos trabalhos foram publicados, com tendência a uma sinergia crescente, canalizando esforços para viabilizar industrialmente a madeira do eucalipto (Mellado, 1993; Acosta, 1998; Menezes 1998; Del Menezzi, 1999; Carvalho, 2000; Lopes, 2000). Aspectos básicos, tanto de silvicultura como de tecnologia, estão se firmando, permitindo assim uma visão bastante otimista quanto à disseminação do uso da madeira desse gênero. Entretanto, ainda há resistência de alguns empresários em utilizar, de forma indiscriminada, a madeira de eucalipto para fabricação de móveis (Menezes 1998). Ainda persiste a preferência em muitas indústrias moveleiras pelo uso de madeira oriunda de florestas nativas, com características diferentes da madeira de eucalipto. As substituições de madeira nativa pela madeira de eucalipto que vêm ocorrendo estão relacionadas principalmente a preço e à dificuldade de obter outros tipos de madeira. Por isto, as madeiras de eucalipto devem ser mais bem estudadas e difundidas, com o intuito de produzir informações capazes de generalizar o seu aproveitamento. Assim, além do rendimento em madeira serrada, este trabalho teve como objetivos determinar a massa específica, contração volumétrica, resistência à flexão estática, resistência à compressão paralela, qualidade da linha de cola e trabalhabilidade das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Sm., que têm sido citadas como potencialmente interessantes para uso na fabricação de móveis, e comparar estas propriedades com as da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As madeiras deste experimento foram obtidas de toras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, e *Pinus elliottii*, colhidas na área do campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, com idades aproximadas de 50, 40 e 40 anos, respectivamente. Foram colhidas três árvores de cada espécie. Os dados dendrométricos das árvores estão apresentados no Quadro 1.

Foram determinadas a massa específica básica, a contração volumétrica total, a resistência à flexão estática, a resistência à compressão paralela e a qualidade da linha de cola.

De cada árvore, foram selecionadas tábuas diâmetros provenientes das toras da base, do meio e do topo,

das quais foram retiradas as amostras para realização dos ensaios. Para determinar a massa específica básica, a contração volumétrica total, a resistência à flexão estática e a resistência à compressão paralela às fibras, as amostras foram retiradas nos dois sentidos a partir da medula, a cada 2 cm, em direção à casca. Até a terceira posição a partir da medula foi possível retirar amostras para todas as toras.

A massa específica básica foi determinada pelo método de imersão em mercúrio, conforme descrito em Vital (1984), utilizando-se corpos-de-prova na dimensão nominal de 2 x 2 x 3 cm. Os mesmos corpos-de-prova foram utilizados para determinação da contração volumétrica total, conforme a norma MB 26/40 da ABNT (ABNT, 1940).

As resistências à flexão e à compressão paralela às fibras foram determinadas segundo a norma MB 26/40 da ABNT, tendo os corpos-de-prova dimensões nominais de 2 x 2 x 30 cm e 2 x 2 x 3 cm, respectivamente. Os corpos-de-prova, por ocasião dos testes, apresentavam os seguintes teores médios de umidade: ensaio de flexão - para madeira de *Eucalyptus saligna* igual a 18,11%; para *Eucalyptus grandis* igual a 17,25% e para *Pinus elliottii* igual a 11,95%; e ensaio de compressão - para madeira de *Eucalyptus saligna* igual a 20,99%, para *Eucalyptus grandis* igual a 20,29% e para *Pinus elliottii* igual a 14,89%. Posteriormente, os resultados obtidos nos ensaios de flexão e compressão foram ajustados para 12% de umidade, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), pela equação:

Quadro 1 – Diâmetro na altura do peito (DAP), número de toras e volume comercial das árvores

Table 1 – Diameter at breast height (DBH), number of logs and commercial volume of trees

Espécie	Árvore	DAP (cm)	Nº de Toras	Volume (m ³ /CC)
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	83	5	6,289
<i>Eucalyptus grandis</i>	2	59	5	3,550
<i>Eucalyptus grandis</i>	3	65	5	3,818
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	69	8	6,591
<i>Eucalyptus saligna</i>	2	59	7	4,521
<i>Eucalyptus saligna</i>	3	57	9	5,588
<i>Pinus elliottii</i>	1	40	5	1,660
<i>Pinus elliottii</i>	2	48	5	2,211
<i>Pinus elliottii</i>	3	47	4	1,703
Total	9		53	35,931

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

em que f_{12} = valor da resistência no teor de 12% de umidade; $f_{U\%}$ = valor da resistência encontrado no teor de umidade ensaiado; e $U\%$ = umidade do corpo-de-prova no momento do ensaio.

Para estabelecer a qualidade da linha de cola e estudar a trabalhabilidade, as amostras foram retiradas próximo à medula e próximo à região periférica. No teste de trabalhabilidade avaliaram-se a qualidade da espiga e a furação para espiga, tornando-se como referência a norma ASTM D-1666 (1994). Para determinação da qualidade da linha de cola foi utilizado um adesivo à base de acetato de polivinila (Cascorez), contendo 46,29% de sólidos. As amostras da região da medula, bem como as amostras da região próxima à casca, foram coladas entre si para posterior confecção dos corpos-de-prova, seguindo os critérios da norma ASTM D-905. O teor de umidade médio dos corpos-de-prova, no momento dos ensaios, foi igual a 15,03, 15,23 e 13,51%, para as madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, respectivamente.

A secagem do material para todos os testes foi feita ao ar, até o equilíbrio com o ambiente.

Os dados de massa específica básica, contração volumétrica, resistência à flexão e resistência à compressão, para espécies e posições no fuste, foram comparados por meio do teste t de Student para duas amostras independentes, a 5% de probabilidade. O efeito da distância medula-casca foi estudado por meio de análise de regressão e os modelos mais adequados foram escolhidos com base no coeficiente de determinação (R^2) e na significância dos coeficientes de regressão pelo teste t ($P < 0,05$ e $P < 0,01$). Os resultados de resistência da linha de cola e porcentagem de falha na madeira foram submetidos ao teste t de Student para duas amostras independentes, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

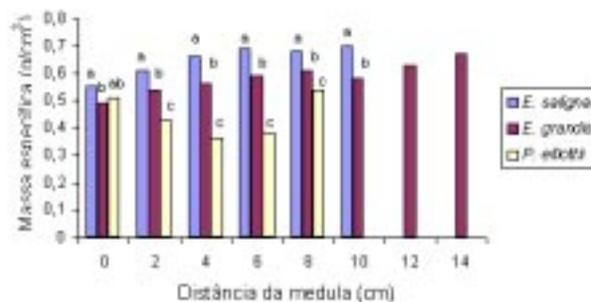
3.1. Rendimento em Madeira Serrada

Os rendimentos em madeira serrada foram iguais a 66,83% para *Eucalyptus saligna*, 64,38% para *Eucalyptus grandis* e 50,13% para *Pinus elliottii*. Estes

rendimentos são superiores àqueles encontrados por Del Menezzi (1999), que trabalhando com toras de eucalipto de 21 anos de idade obteve rendimento por volta de 52%. A maior produção obtida neste trabalho pode ser atribuída às características das toras, que apresentavam grande diâmetro e baixos índices de conicidade e de encurvamento, bem como à qualidade do equipamento e à operação do engenho de serra. Del Menezzi (1999) relatou que autores como Steele e Wade apontam a tendência de aumento do rendimento em madeira serrada em função do aumento do diâmetro, uma vez que em toras de maior diâmetro o volume de madeira perdida como costaneira e no canteamento é percentualmente menor em relação ao volume da tora.

3.2. Massa Específica Básica da Madeira

As comparações entre as médias de massa específica para cada espécie, fixando-se a distância da medula, estão apresentadas na Figura 1. Pode-se observar que todas as espécies diferiram significativamente entre si, exceto na região próxima à medula. Nesta região, a massa específica básica da madeira de *Eucalyptus saligna* diferiu apenas daquela de *Eucalyptus grandis*. Em todas as distâncias medula-casca, a madeira de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou a maior massa específica básica, seguida por *Eucalyptus grandis* e por *Pinus elliottii*. Exceção ocorreu na região próxima à medula, em que a



Para a mesma distância da medula, as médias para cada espécie seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$). Algumas médias não foram comparadas, por falta de número suficiente de amostras.

Figura 1 – Média geral da massa específica básica das três posições no fuste, em função da distância da medula de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.
Figure 1 – Mean density for all logs as affected by pith distance for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood.

massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* foi menor do que a de *Pinus elliottii*, porém a diferença não foi significativa.

No Quadro 2 estão as equações ajustadas para estimar a massa específica em função da distância da medula por espécie e por posição no fuste, bem como por espécie em geral.

Conforme pode-se constatar na Figura 1 e no Quadro 2, de modo geral, a massa específica das madeiras de eucalipto tende a crescer no sentido medula-casca. Para a madeira de *Eucalyptus saligna*, o crescimento foi mais acentuado na região próximo à medula, decrescendo na região próximo ao alburno.

Esses resultados são coerentes com aqueles encontrados por Ferreira (1972) Santos (1992), Oliveira (1997) e Moreira (1999), o que, provavelmente, é ocasionado pela presença de madeira juvenil na região próximo à medula (Moreira, 1999), indicando que para obter madeiras mais densas é necessária a colheita de árvores mais velhas. Por outro lado, observou-se que para o *Pinus elliottii* a tendência geral foi a redução inicial seguida de acréscimo, o que é compatível com os dados disponíveis em Panshin & De Zeeuw (1980).

Quando se considera a posição no fuste, resolvendo-se as equações apresentadas no Quadro 2, observa-se a

tendência de diminuição da densidade da tora da base para a do meio, voltando a crescer na tora do topo. Observou-se ainda que as densidades na base, de modo geral, foram inferiores às observadas no topo da árvore.

3.3. Contração Volumétrica Total

As madeiras de todas as espécies sofrem variações nas suas dimensões, quando o seu teor de umidade é alterado. Essas variações dimensionais ocorrem quando há flutuação na umidade da madeira abaixo da umidade de saturação das fibras, isto é, abaixo de 30%, ou seja, em teores de umidade normalmente observados na madeira em uso. A contração varia em relação à posição na árvore. Na madeira juvenil, a contração é maior próximo à medula e tende a diminuir no sentido medula-casca (Maeglin, 1987; Moreira, 1999).

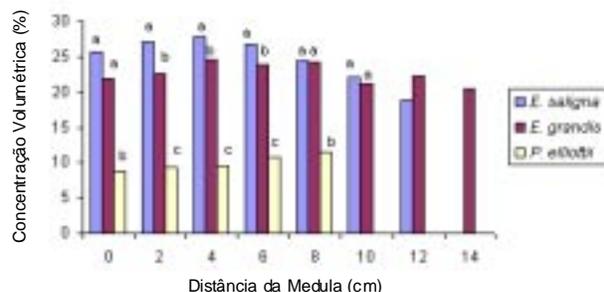
A Figura 2 mostra as médias de contração volumétrica total da madeira de cada espécie. Nas madeiras de eucalipto, observa-se a tendência de a contração diminuir à medida que se aproxima da casca, o que se deve, provavelmente, à presença de madeira madura nesta região, uma vez que na madeira madura normal, tanto de coníferas como de folhosas, as contrações transversais e volumétricas são afetadas pela densidade, pelo comprimento das fibras, pelo ângulo microfibrilar das paredes

Quadro 2 – Equações ajustadas aos dados de massa específica básica de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, em função da distância medula-casca (D), nas toras da base, do meio e do topo

Table 2 – Equations adjusted to estimate *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* basic density, as affected by pith distance for base, middle and top logs

Espécie	Posição	Equação Ajustada	R ²
<i>Eucalyptus saligna</i>	Base	$\hat{Y} = 0,5313 + 0,03671D - 0,001799D^2$	0,97
	Meio	$\hat{Y} = 0,5356 + 0,04123D - 0,002980D^2$	0,94
<i>Eucalyptus grandis</i>	Base	$\hat{Y} = 0,4822 + 0,01275D$	0,92
	Meio	$\hat{Y} = 0,4970 + 0,01453D$	0,94
	Topo	$\hat{Y} = 0,5077 + 0,04231D - 0,003468D^2$	0,86
<i>Pinus elliottii</i>	Base	$\hat{Y} = 0,5853 + 0,6452D^{1/2} - 0,7130D + 0,1693D^{3/2}$	0,99
	Meio	$\hat{Y} = 0,6038 - 0,1308D + 0,01608D^2$	0,99
<i>Eucalyptus saligna</i>	Todas	$\hat{Y} = 0,5543 + 0,03622D - 0,002380D^2$	0,98
<i>Eucalyptus grandis</i>	Todas	$\hat{Y} = 0,5129 + 0,01064D$	0,86
<i>Pinus elliottii</i>	Todas	$\hat{Y} = 0,5262 - 0,08160D + 0,01025D^2$	0,92

celulares (Panshin & De Zeeuw, 1980) e pelo teor de extrativos presentes no cerne (Moreira, 1999). Apesar da maior massa específica, a madeira madura tende a ser mais estável porque o ângulo fibrilar diminui com a idade da árvore (Panshin & De Zeeuw, 1980; Maeglin, 1987).



Para a mesma distância da medula, as médias para cada espécie seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$). Algumas médias não foram comparadas, por falta de número suficiente de amostras.

Figura 2 – Média geral da contração volumétrica total das três posições no fuste, em função da distância da medula de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.

Figure 2 – Mean volumetric shrinkage for all logs as affected by pith distance for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood.

O comportamento decrescente da contração volumétrica na direção medula-casca aponta que, para obtenção de madeiras mais estáveis dimensionalmente, é necessário fazer a seleção de árvores mais velhas, que possuem maior porcentual de madeira madura que a juvenil.

Resolvendo-se as equações apresentadas no Quadro 3, observa-se que nas madeiras de eucalipto existe tendência crescente no valor da contração, da tora da base em relação à do meio, e decrescente desta para a do topo.

Como regra geral, a madeira de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou maior porcentual de contração volumétrica, seguida de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*.

3.4. Resistência à Flexão Estática

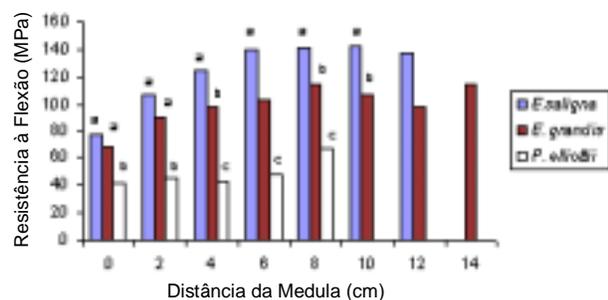
As comparações entre as médias de resistência à flexão de cada espécie, fixando-se a distância da medula, estão apresentadas na Figura 3. No Quadro 4 estão apresentadas as equações ajustadas para estimar a resistência à flexão em função da distância da medula. Pode-se observar que na região central da tora, próximo à medula, ocorreram diferenças somente entre as madeiras

Quadro 3 – Equações ajustadas aos dados de contração volumétrica total de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, em função da distância medula-casca (D), nas toras da base, do meio e do topo

Table 3 – Equations adjusted to estimate *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* volumetric shrinkage, as affected by pith distance for base, middle and top logs

Espécie	Posição	Equação Ajustada	R ²
<i>Eucalyptus saligna</i>	Base	$\hat{Y} = 24,4532 + 0,8790D - 0,1153D^2$	0,92
	Meio	$\hat{Y} = 23,7055 + 1,9513D - 0,1958D^2$	0,96
	Topo	$\hat{Y} = 30,3740 - 0,8777D$	0,87
<i>Eucalyptus grandis</i>	Base	$\hat{Y} = 17,0458 + 1,4803D - 0,08574D^2$	0,81
	Meio	$\hat{Y} = 22,9817 + 0,5308D$	0,71
	Topo	$\hat{Y} = 24,5792 + 1,2746D - 0,2293D^2$	0,98
<i>Pinus elliottii</i>	Base	$\hat{Y} = 7,9286 + 0,5253D$	0,90
	Meio	$\hat{Y} = 8,4445 + 0,4166D$	0,99
<i>Eucalyptus saligna</i>	Todas	$\hat{Y} = 25,9616 + 0,7949D - 0,1161D^2$	0,98
<i>Eucalyptus grandis</i>	Todas	$\hat{Y} = 21,8596 + 0,7347D - 0,05930D^2$	0,93
<i>Pinus elliottii</i>	Todas	$\hat{Y} = 8,5396 + 0,3370D$	0,94

de pinus e as de eucaliptos. À medida que se afasta da medula, todas as espécies diferem entre si. Ocorreu também o aumento da resistência na direção da casca, indicando que a madeira madura é mais resistente que a juvenil. Provavelmente, tal fato ocorreu pelo aumento na massa específica, uma vez que, segundo



Para a mesma distância da medula, as médias para cada espécie seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$). Algumas médias não foram comparadas por falta de número suficiente de amostras.

Figura 3 – Média geral da resistência à flexão das três posições no fuste, em função da distância da medula de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.

Figure 3 – Mean bending strength for all logs as affected by the pith distance for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood.

Panshin & De Zeeuw (1980), existe uma relação direta entre a massa específica da madeira e a sua resistência mecânica. Para todas as distâncias da medula, a madeira de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou a maior resistência à flexão, seguida do *Eucalyptus grandis* e do *Pinus elliottii*.

3.5. Resistência à compressão paralela às fibras

A Figura 4 apresenta as comparações entre as médias de resistência à compressão de cada espécie, para diferentes distâncias da medula. Igualmente à resistência à flexão e provavelmente pelo mesmo motivo, ocorre também o aumento da resistência à compressão na direção medula-casca, o que indica que a madeira madura é mais resistente à compressão que a juvenil. Resolvendo as equações apresentadas no Quadro 5, observa-se que em todas as distâncias medula-casca a madeira de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou a maior resistência, seguida do *Eucalyptus grandis* e do *Pinus elliottii*.

3.6. Resistência da linha de cola

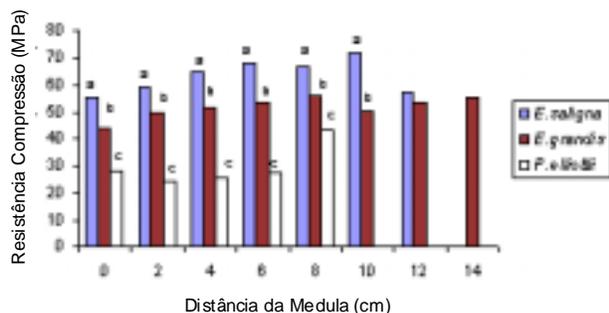
No Quadro 6 estão as médias de resistência da linha de cola nas madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, nas diferentes toras do fuste e posições na tábua diametral, como também a média geral

Quadro 4 – Equações ajustadas aos dados de resistência à flexão de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, em função da distância medula-casca (D), nas toras da base, do meio e do topo

Table 4 – Equations adjusted to estimate *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* bending strength, as affected by pith distance for base, middle and top logs

Espécie	Posição	Equação Ajustada	R ²
<i>Eucalyptus saligna</i>	Base	$\hat{Y} = 80,3112 + 15,0281D - 0,8453D^2$	0,97
	Meio	$\hat{Y} = 57,9248 + 23,5852D - 1,7314D^2$	0,93
	Topo	$\hat{Y} = 90,9437 + 14,8852D - 1,2573D^2$	0,97
<i>Eucalyptus grandis</i>	Base	$\hat{Y} = 67,5697 + 7,7178D - 0,3416D^2$	0,83
	Meio	$\hat{Y} = 71,7122 + 4,7985D$	0,92
	Topo	$\hat{Y} = 70,1556 + 17,7173D - 1,5872D^2$	0,91
<i>Pinus elliottii</i>	Base	$\hat{Y} = 35,7633 + 3,0381D$	0,80
<i>Eucalyptus saligna</i>	Todas	$\hat{Y} = 79,7008 + 14,1126D - 0,8083D^2$	0,97
<i>Eucalyptus grandis</i>	Todas	$\hat{Y} = 71,0623 + 8,2151D - 0,3691D^2$	0,97
<i>Pinus elliottii</i>	Todas	$\hat{Y} = 41,2510 + 4,9751D - 2,0855D^2 + 0,2339D^3$	0,99

por espécie e posição na prancha diametral. Os resultados da resistência da linha de cola obtidos neste trabalho podem ser comparados com os resultados de cisalhamento na madeira encontrados por alguns autores: Brotero (1956): *Eucalyptus saligna* – 9,5 MPa;



Para a mesma distância da medula, as médias para cada espécie seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$). Algumas médias não foram comparadas, por falta de número suficiente de amostras.

Figura 4 – Média geral da resistência à compressão paralela às fibras das três posições no fuste, em função da distância da medula de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.

Figure 4 – Mean compression strength for all logs as affected by pith distance for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood.

Lima (1983): *Eucalyptus saligna* – 15,6 MPa; e Moreira (1999): *Eucalyptus grandis*: 9,8 MPa, *Eucalyptus saligna* – 14,9 MPa. Portanto, os resultados encontrados neste trabalho são coerentes com aqueles obtidos por outros pesquisadores, para resistência da madeira ao cisalhamento.

Analisando o Quadro 6, pode-se observar que, para todas as espécies, tanto na região da medula quanto na periferia das toras não ocorreram diferenças significativas ocasionadas pela posição da tora no fuste da árvore. Também não foram observadas diferenças significativas entre as madeiras de eucalipto, que, na maioria das vezes, foram mais resistentes que a madeira de pinus.

Comparações entre as médias gerais indicam que, tanto na região próxima à medula quanto na região próxima à casca, a madeira de *Eucalyptus grandis* foi mais resistente que a madeira de pinus, porém com resistência similar à da madeira de *Eucalyptus saligna*.

Na Figura 5 podem ser visualizadas as comparações na resistência das linhas de cola entre madeiras da região próxima à medula e madeiras da região próxima à casca. Quando ocorreram diferenças significativas, a linha de cola da região próxima à medula foi mais resistente que aquela próxima à casca, fato que provavelmente se deve à maior densidade e à menor permeabilidade da madeira

Quadro 5 – Equações ajustadas aos dados de resistência à compressão paralela às fibras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, em função da distância medula-casca (D), nas toras da base, do meio e do topo

Table 5 – Equations adjusted to estimate *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* compression strength, as affected by pith distance for base, middle and top logs

Espécie	Posição	Equação Ajustada	R ²
<i>Eucalyptus saligna</i>	Base	$\hat{Y} = 50,1914 + 5,6580 D - 0,3961 D^2$	0,75
	Meio	$\bar{Y} = 63,11$	-
	Topo	$\hat{Y} = 58,9903 + 1,0664 D$	0,68
<i>Eucalyptus grandis</i>	Base	$\hat{Y} = 45,4216 + 0,7704 D$	0,79
	Meio	$\hat{Y} = 44,9739 + 1,5638 D$	0,93
	Topo	$\hat{Y} = 46,1383 + 4,2285 D - 0,4063 D^2$	0,84
<i>Pinus elliottii</i>	Base	$\hat{Y} = 27,5646 - 4,1944 D + 0,7761 D^2$	0,97
<i>Eucalyptus saligna</i>	Todas	$\hat{Y} = 54,3104 + 4,0491 D - 0,2998 D^2$	0,83
<i>Eucalyptus grandis</i>	Todas	$\hat{Y} = 45,3828 + 2,0183 D - 0,09767 D^2$	0,93
<i>Pinus elliottii</i>	Todas	$\hat{Y} = 28,5747 - 4,0076 D + 0,7087 D^2$	0,94

Quadro 6 – Médias de resistências das linhas de cola de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, nas diferentes toras e posições na tábua, em Mpa

Table 6 – Mean adhesive shear strength for wood of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii*, as affected by log and lumber position, in Mpa

Posição na Tábua	Espécie	Tora			Média Geral
		Base	Meio	Topo	
Próximo à medula	<i>Eucalyptus saligna</i>	11,42Aa	10,91Aa	10,38Aab	10,90ab
	<i>Eucalyptus grandis</i>	11,92Aa	11,55Aa	11,68Aa	11,72a
	<i>Pinus elliottii</i>	8,05Ab	8,24Ab	9,00Ab	8,43b
Próximo à casca	<i>Eucalyptus saligna</i>	10,94Aa	10,10Aab	10,82Aab	10,62ab
	<i>Eucalyptus grandis</i>	10,43Aab	11,06Aa	11,47Aa	10,99a
	<i>Pinus elliottii</i>	7,19Ab	7,16Ab	8,12Ab	7,49b

Para cada espécie e mesma posição, as médias para as toras (ao longo das linhas) seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P>0,05$).

Para cada tora e mesma posição na tábua ou para a média geral as médias seguidas pela mesma letra minúscula (ao longo das colunas) não diferem entre si pelo teste t de Student ($P>0,05$).

mais próximo à casca, o que pode ter dificultado a penetração do adesivo.

3.7. Falha na Madeira

As médias de porcentagem de falha na madeira para espécies, toras e posições na tábua diametral, bem como as médias gerais, estão apresentadas no Quadro 7. A Figura 6 mostra a porcentagem de falhas na madeira, para madeiras da região periférica e próximo à medula por espécie e posição da tora.

Para todas as espécies e posições, as elevadas porcentagens de falha na madeira indicam boa qualidade da adesão.

Ao analisar o Quadro 7, constata-se que quando ocorreram diferenças significativas as menores porcentagens de falha ocorreram para amostras retiradas das toras do topo.

As comparações entre espécies indicam que na região próximo à medula a menor porcentagem de falha ocorreu na madeira de *Eucalyptus grandis* retirada na tora do topo. Na região próximo à casca os menores valores foram obtidos, também, nas toras do topo, contudo para as madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.

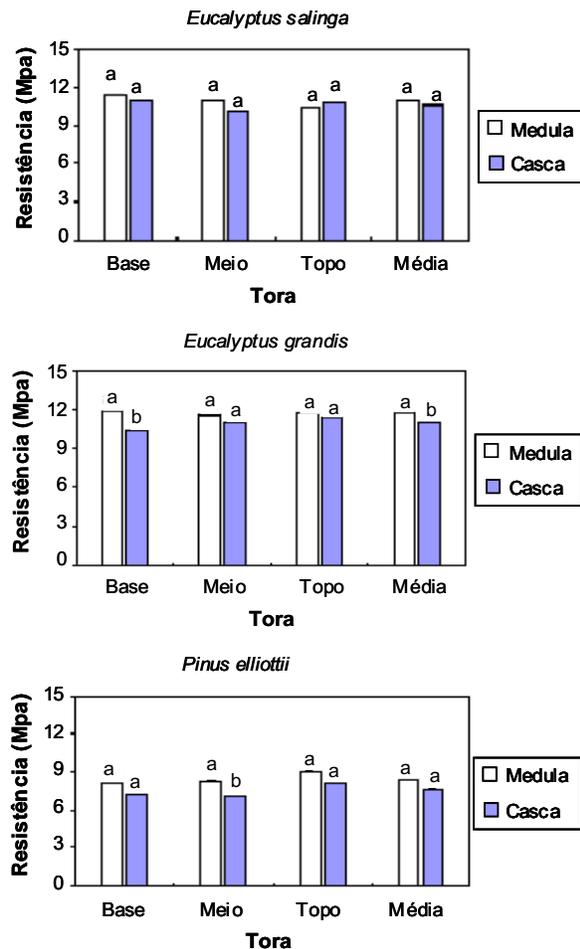
Analisando o efeito da posição da madeira na prancha diametral por espécie e posição na tora, conforme mostra a Figura 6, observa-se que para madeira de *Eucalyptus saligna* não houve diferenças significativas.

Para a madeira de *Eucalyptus grandis* as amostras retiradas próximo à casca, nas toras do topo, apresentaram maior porcentagem, o que ocasionou diferença na média geral. Para a madeira de *Pinus elliottii* a única diferença foi observada, também, nas toras do topo, contudo a maior porcentagem de falha ocorreu na madeira próximo à medula.

Os resultados indicam que as madeiras das três espécies testadas apresentam bons índices de adesão. Estes resultados são compatíveis com aqueles encontrados por SENAI/CETEMO (1998), para adesão com madeira de eucalipto usando adesivos à base de uréia-formol e de PVA (acetato de polivinila).

3.8. Trabalhabilidade

Todas as espécies apresentaram bom desempenho nas duas regiões da tábua em que foram testadas, não tendo sido observados defeitos como arrancamento das fibras, queima de superfície, lascamento ou levantamento de fibras, que viessem a prejudicar a qualidade da peça manufaturada. Estes resultados são compatíveis com aqueles encontrados por Priest, citado por Del Menezzi (1999), que estudou a trabalhabilidade do *Eucalyptus grandis* e afirmou que sua madeira é satisfatoriamente usinada nas operações de aplainamento, furação, torneamento e pregação e que a sua textura uniforme e o padrão de grã possibilitam sua utilização na confecção de móveis e na carpintaria.

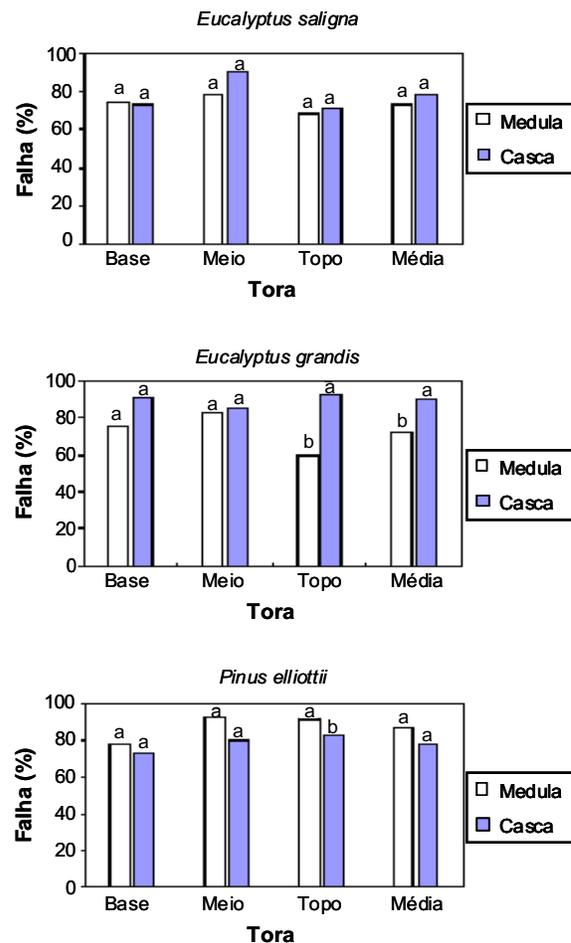


Para a mesma posição, as médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$).

Figura 5 – Comparações entre resistência média da linha de cola em madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, na periferia e região da medula de cada tora.

Figure 5 – Comparison between adhesive shear strength for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii* wood, collected near bark and close to the pith.

Também, os resultados do SENAI/CETEMO (1998) em ensaio de furação para espiga e respigamento com madeira de *Eucalyptus grandis* mostraram que 100% das amostras ficaram isentas de defeitos, em ambos os testes. Outros testes de usinagem, como aplainamento, cópia de perfil curvo, fresagem, furação, ranhura em tupa superior, torneamento, lixamento e pintura, realizados com madeira desta espécie, também apresentaram resultados bastante satisfatórios.



Para a mesma posição, as médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P > 0,05$).

Figura 6 – Comparações entre porcentagem média de falha em madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, na periferia e região da medula de cada tora.

Figure 6 – Comparisons among mean percentage of wood failure for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii*, for wood collected near bark and close to the pith.

Os resultados encontrados são ainda compatíveis com a citação de Ponce (1997), que no IPT, em 1979, realizou testes de desdobro de toras de *Eucalyptus saligna* com resultados animadores. O autor relatou ainda que em 1983 foi executado um projeto naquela instituição de pesquisa, tendo em vista estudar a viabilidade de uso de três espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*), para fabricação de móveis, com resultados excelentes, principalmente o *Eucalyptus grandis*.

Quadro 7 – Médias de porcentagens de falhas na madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, nas diferentes toras e posições na tábua

Table 7 – Percentage of wood failure for *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii*, as affected by log and lumber position

Posição na Tábua	Espécie	Tora			Média Geral
		Base	Meio	Topo	
Próximo à medula	<i>Eucalyptus saligna</i>	74,03Aa	78,33Aa	68,33Ab	73,56 b
	<i>Eucalyptus grandis</i>	75,14ABa	83,47Aa	59,58Bb	72,73 b
	<i>Pinus elliottii</i>	77,50Aa	92,08Aa	91,67Aa	87,08 a
Próximo à casca	<i>Eucalyptus saligna</i>	73,47ABa	90,14Aa	71,53Bb	78,38b
	<i>Eucalyptus grandis</i>	90,69Aa	85,14Aa	93,06Aa	89,63a
	<i>Pinus elliottii</i>	73,06Aa	79,72Aa	82,92Ab	78,57b

Para cada espécie e mesma posição, as médias para as toras (ao longo das linhas) seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t de Student ($P>0,05$).

Para cada tora e mesma posição na tábua ou para a média geral, as médias seguidas pela mesma letra minúscula (ao longo das colunas) não diferem entre si pelo teste t de Student ($P>0,05$).

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho, pôde-se concluir que:

- A massa específica básica, a contração volumétrica, a resistência à flexão e a resistência à compressão paralela às fibras variam nos sentidos radial e longitudinal da árvore, para todas as espécies estudadas.
- Na direção medula-casca, a massa específica básica, a resistência à flexão e a resistência à compressão aumentam e a contração volumétrica diminui, para todas as espécies.
- Longitudinalmente, a tendência para as três espécies foi de ocorrerem massas específicas, contrações volumétricas e resistências à flexão e à compressão menores na tora do meio que nas da base e do topo. Observou-se ainda que a densidade na base, de modo geral, foi inferior àquelas observadas no topo da árvore.
- Para obtenção de madeiras mais densas, mais estáveis e com maior resistência à flexão e à compressão, é necessário realizar a colheita de árvores mais velhas.
- Em todas as variáveis estudadas, a madeira de *Eucalyptus saligna* foi a que apresentou maior densidade básica, contração volumétrica, resistência à flexão e à compressão, seguida de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*.

- Ao separar a madeira juvenil da adulta, podem ser obtidas peças com menor variação dimensional.
- Nas juntas coladas, pouca diferenciação ocorreu entre madeiras juvenil e adulta, bem como entre madeiras obtidas de diferentes posições no fuste. Entre as duas espécies de eucalipto, a maior resistência da linha de cola foi apresentada pela madeira de *Eucalyptus grandis*, bem como a maior porcentagem de falha na madeira.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, M. S. Estado de la tecnología en usos no tradicionales de la madera de eucalipto en el Mercosur y otros países. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Viçosa: SIF, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard methods for conducting machining tests of wood and wood-base material (s. 1666-8). In: *Annual Book of A.S.T.M. Standards*, Philadelphia: 1994. 608 p. v. 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Ensaio físico e mecânico de madeiras* – Método Brasileiro. MB-26/1940. Rio de Janeiro: 1940. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de estruturas de madeira – NBR 7190**. Rio de Janeiro: 1997. 107 p.

BROTERO, F. A. **Métodos de ensaios adotados no I.PINUST. para o estudo de madeiras nacionais, Tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais, Nomenclatura para madeiras nacionais**. 2.ed. São Paulo: 1956. 62 p. (Boletim Técnico, 31).

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.** 1999. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

FERREIRA, M. **Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos**. IPEF, v. 4, p. 65-89, 1972.

LOPES, A. G. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população**. 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

LIMA, J. T. **Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith**. 1983. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

MAEGLIN, R. R. **Juvenil wood, tension wood, and growth stress effects on processing hardwoods**. In: APPLYING THE LATEST RESEARCH TO HARDWOOD PROBLEMS. Annual hardwood symposium of the Hardwood Research Council, 15., 1987, Memphis. **Proceedings...** Memphis: Hardwood Research Council, 1987. p. 100-108.

MELLADO, E. C. E. R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na geração de produtos com maior valor agregado**. 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MENEZES, L. F. **Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto – a experiência da Flosul**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRADO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte, **Anais...** Viçosa: SIF, 1998. 132 p.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v. 425 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York, McGraw-Hill Book Company, 1980. 722 p.

PONCE, H. **PINUS Eucalipto: uso alternativo da madeira**. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p. 52-57, 1997.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SENAI/CETEMO. **A madeira do eucalipto na indústria moveleira**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRADO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 1998. 132 p.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1)