

RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE TRÊS ANGIOSPERMAS

PEREIRA, Roberto Lessa¹; MATTOS, Bruno Dufau²; GATTO, Darci Alberto^{1,2}

¹ Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias - roberto-lessa93@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a madeira das mais variadas espécies vem ganhando espaço nos mais distintos setores, porém, para que estas possam ser aplicadas adequadamente é preciso primeiro ter o conhecimento de suas propriedades, sejam estas físicas ou mecânicas (GONÇALVES, 2009). Nesse estudo vamos tratar de espécies de eucaliptos que, segundo Oliveira (1997) a resistência mecânica para estas espécies varia de baixa a muito elevada, não havendo assim, restrições consideráveis quanto a esta propriedade.

Dentre propriedades pode-se destacar o MOE (Módulo Elástico) e o MOR (Módulo de Ruptura) como essenciais para determinação da qualidade da madeira, sendo que, em consideração ao ponto de vista tecnológico o conhecimento do MOE é a de maior importância (SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Para tais determinações, existem técnicas, sendo estas destrutivas (flexão estática) ou não destrutivas (ultrassom). Segundo Moreschi (2010), no método de flexão estática, a madeira é submetida a uma carga em sua face tangencial flexionando-se. Este método mecânico acaba por destruir a peça avaliada de tal forma que impossibilita a sua aplicação futura. Já a outra forma de avaliarmos as propriedades mecânicas, é realizada por meio da técnica não destrutiva (NDT), que segundo (PELLERIN e ROSS, 2002) é definida como aquela capaz de identificar propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar sua capacidade de uso final, para que ao contrário da técnica destrutiva, a peça possa ser utilizada posteriormente. Além disso, a técnica não destrutiva (NDT) é mais rápida que a técnica destrutiva, na obtenção da informação com um menor volume de trabalho (DEL MENEZZI, 2010).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi determinar as propriedades de flexão estática de três espécies de eucalipto por meio de ensaio não destrutivo (ultrassom), visando correlacionar o Ed (módulo elástico dinâmico) com outras variáveis, a fim de poder determinar propriedades como MOE e MOR sem a necessidade de utilizar a técnica destrutiva de flexão estática.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para esse estudo foram amostradas três árvores adultas de *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus tereticornis* Smith e *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, com bom fuste e com no mínimo 30 cm no diâmetro a altura do peito (DAP). As árvores foram doadas pela FEPAGRO – FLORESTAS, localizada no município de Santa Maria, onde a extração foi feita ao acaso e as toras foram desdobradas e transformadas em tábuas de 2,0 m de comprimento e espessura e largura de 2,5 cm e 15,0 cm, respectivamente. Posteriormente, as tábuas foram transportadas para o Laboratório de Propriedades Físicas do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas (LPF - UFPel) onde foram confeccionados um

total de 48 corpos de prova de dimensões 2,0 x 2,0 x 31,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, sendo que, 15 corpos de prova para a espécie *E. saligna*, 17 para espécie *E. tereticornis* e 16 para a espécie *C. citriodora*. Após, o material foi condicionado para atingir 12% de umidade em câmara climatizada (temperatura de 20°C e 65% umidade relativa do ar).

Posteriormente, calculou-se por meio da Equação (1) a massa específica aparente a 12% de umidade com a utilização de um paquímetro digital (com precisão de 0,01mm) e balança analítica (com precisão de 0,0001g) para a mensuração das dimensões e massa dos corpos de prova.

$$MEA (12\%) = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (1)$$

Em que: MEA(12%) = massa específica aparente a 12%; $m_{12\%}$ = massa a 12% de TU; $V_{12\%}$ = volume a 12% de TU.

Após foram realizadas as leituras de ultrassom, que consiste na propagação de uma onda no sentido longitudinal da peça com o intuito de captar sua velocidade de propagação, com transdutores tipo ponto seco e frequência de 54hz. Conhecendo-se a velocidade de propagação e a densidade do material é possível calcular seu módulo elástico dinâmico por meio da equação (2).

$$Ed = V_{som}^2 * MEA \quad (2)$$

Em que: Ed = módulo de elasticidade dinâmico (MPa); V_{som} = velocidade de propagação de onda ultrassônica ($m.s^{-1}$).

Por último foram realizados os testes de flexão estática com uma máquina universal de ensaios EMIC, por meio da norma ASTM D143-95 (2000). O teor de umidade do material foi obtido após a realização dos testes mecânicos de flexão estática por meio da Equação (3).

$$TU = \frac{(m_0 - m_u)}{m_0} \quad (3)$$

Em que: TU = teor de umidade da madeira (%); m_0 = massa seca; m_u = massa úmida.

Para a avaliação dos resultados os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e os fatores tidos como significativos, pelo teste F, foram desdobrados e analisados separadamente pelo teste HSD de Tukey em nível de 95% de confiança. Para auxiliar os resultados correlações lineares de Pearson foram utilizadas, e para as variáveis com forte correlação foram feitos modelos matemáticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das variáveis avaliadas nesse estudo. Pode-se observar que tais propriedades variam entre as espécies, o que também foi encontrado no estudo realizado por Targa et al. (2005), no qual avaliou o módulo de elasticidade da madeira com uso do método não destrutivo para as madeiras de *C. citriodora*, *E. saligna*, *E. grandis*.

Tabela 1 – Valores médios para as variáveis em estudo.

Espécie	Propriedades				
	TU (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	ME (Kg.m ⁻³)	Ed (MPa)
<i>E. saligna</i>	11,20 b (0,33)	14822,0 b (2234,84)	107,61 a (19,33)	871,53 a (105,67)	10160,3 a (1227,63)
<i>E. tereticornis</i>	12,42 c (0,36)	10864,0 a (2894,39)	93,47 a (19,54)	1004,61 b (80,02)	9186,57 a (1572,05)
<i>C. citriodora</i>	10,60 a (0,95)	18814,6 c (2861,03)	146,88 b (22,05)	1081,0 c (75,23)	13049,8 b (983,01)
F	37,67	35,89	30,11	22,69	39,34
Valor de P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Na mesma coluna valores seguidos de letras distintas diferem estatisticamente em nível de 95% de probabilidade, de acordo com o teste HSD de Tukey. TU= Teor de Umidade; MOE= Módulo Elástico; MOR= Módulo de Ruptura; ME= Massa Específica; Ed= Módulo Elástico Dinâmico.

Podemos afirmar pelos dados médios obtidos, que a espécie *Corymbia citriodora* apresentou o melhor Módulo Elasticidade (MOE), portanto, esta madeira apresentou maior resistência mecânica, sendo então, a mais resistente das três espécies estudadas.

Tabela 2 – Correlação linear de Pearson entre as variáveis.

<i>Eucalyptus saligna</i>					
	TU	MOE	MOR	ME	Ed
TU	1	0,01	0,13	0,34	0,22
MOE		1	0,62*	0,40	0,48
MOR			1	0,62*	0,64**
ME				1	0,97**
Ed					1
<i>Eucalyptus tereticornis</i>					
	TU	MOE	MOR	ME	Ed
TU	1	-0,19	-0,15	-0,20	-0,13
MOE		1	0,55*	0,54*	0,83**
MOR			1	0,58*	0,57*
ME				1	0,79**
Ed					1
<i>Corymbia citriodora</i>					
	TU	MOE	MOR	ME	Ed
TU	1	-0,35	-0,73**	0,07	-0,34
MOE		1	0,62*	0,32	0,54*
MOR			1	0,46	0,76**
ME				1	0,75**
Ed					1

* 5% de probabilidade de erro; ** 1% de probabilidade de erro.

Podemos observar na Tabela 2 que existem boas correlações entre as variáveis, tanto para 1% quanto para 5% de probabilidade de erro, porém, para o estudo o que nos interessa mais, são as correlações entre Ed e MOE e MOR. Neste caso, destacamos as correlações mais significativas (1% chance de erro): para *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora* foi dado ênfase ao MOR como variável e para *Eucalyptus tereticornis* o MOE. O sinal positivo significa que a relação entre essas variáveis é direta.

Por outro lado, observamos que para *E. tereticornis* e *C. citriodora* o TU é inverso das outras propriedades, ou seja, para um aumento de TU, há uma diminuição nas demais. O MOE e o MOR tiveram boas correlações para todas as espécies, assim como a massa específica (ME) para *E. tereticornis* e *E. saligna*.

Com base nos valores significativos para o teste de Pearson, foram elaboradas equações matemáticas do tipo linear, por meio de análises de

regressões, com o uso do software Statgraphis Centurion XV para a determinação do MOR e do MOE, por meio do Ed para cada espécie em estudo.

Tabela 3 – Regressões lineares

Espécie	Equação	R ²	MAE	Valor p
<i>E. saligna</i>	MOE = 5902,03 + 0,87792*Ed	23,3	1622,69	0,068
	MOR = 4,60985 + 0,0101373*Ed	41,4	11,48	0,009
<i>E. tereticornis</i>	MOE = -3168,51 + 1,5275*Ed	68,8	1227,59	<0,001
	MOR = 28,7662 + 0,00704368*Ed	32,2	12,61	0,018
<i>C. citriodora</i>	MOE = -1724,48 + 1,5739*Ed	29,2	1806,04	0,031
	MOR = -76,7032 + 0,0171331*Ed	58,3	10,21	<0,001

R² = coeficiente de determinação (%); MAE = Erro médio absoluto (MPa); Valor P = probabilidade de erro.

Podemos observar que as equações que melhor se aproximam para MOE e MOR respectivamente, são: *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*, isto se deve ao fato, do Ed (modulo elástico dinâmico) ter melhor correlação com o MOE para o *E. tereticornis* e melhor correlação com o MOR para a espécie *C. citriodora*.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o ultrassom é um método promissor para a avaliação da resistência mecânica dessas madeiras. As melhores determinações foram verificadas para o MOE de *E. tereticornis* e o MOR de *C. citriodora*.

5 REFERÊNCIAS

- American Society For Testing And Materials (ASTM). **Standards methods of testing small clear specimens of timber**: D143-94. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia, 2000.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Revista Ciências Florestais**, v.40, n2, 2010.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla X Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, vol.33 n.3, 2009.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010, p.176.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. **Nondestructive evaluation of wood**. Forest Products Society, Madison, ed. 2002.
- SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.
- TARGA, L. A; BALLARIN, A. W; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não destrutivo de vibração transversal. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25 n.2, 2005.