

## ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE TRÊS ESPÉCIES FLORESTAIS PELO MÉTODO ULTRASSONORO

HENRIQUE ROMER SCHULZ<sup>1</sup>; MATHEUS LEMOS PERES<sup>2</sup>,  
RAFAEL BELTRAME<sup>2</sup>; DARCI ALBERTO GATTO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas – [henriqueschulz09@hotmail.com](mailto:henriqueschulz09@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – [matheuslde@gmail.com](mailto:matheuslde@gmail.com); [beltrame.rafael@yahoo.com.br](mailto:beltrame.rafael@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pelotas – [darcigatto@yahoo.com](mailto:darcigatto@yahoo.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Stangerlin (2010), os estudos feitos a partir dos processos destrutivos são, em geral, os principais métodos utilizados para o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira. Os resultados obtidos a partir dessa metodologia, por vezes, são dispendiosos em razão do tempo consumido com a elaboração dos corpos-de-prova e custo dos equipamentos. Além disso, os resultados obtidos são apenas uma estimativa, já que os ensaios são realizados por meio de amostragem e não da peça real em uso.

Embora a hipótese básica para avaliação não-destrutiva da madeira tenha sido proposta por Jayne (1959), no Brasil essa técnica começou a ser estudada apenas no final da década de 1980. É possível, assim, uma caracterização eficaz por meio de métodos não destrutivos, nos quais não é necessária a extração de corpos-de-prova, pois a avaliação é feita na própria peça ou estrutura (ROSS et al., 1998). Ross e Pellerin (1994) definiram como a avaliação de material por meio de métodos não destrutivos como ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas das peças sem alteração das suas propriedades. Tais avaliações devem fornecer informações precisas das propriedades e do desempenho do material.

Para a categorização da estrutura das peças de madeira por meio de métodos não destrutivos são utilizados os métodos visuais e mecânicos. Na classificação visual da madeira, examina-se cada peça e limita-se o tipo, localização e tamanho dos vários defeitos que podem afetar a resistência estrutural. A classificação mecânica consiste em determinar o módulo de elasticidade longitudinal das lâminas por um meio não destrutivo. Segundo Wang et al. (2007), significativos esforços estão sendo direcionados para o desenvolvimento de uma tecnologia consistente de avaliação não-destrutiva capaz de predizer com eficácia as propriedades intrínsecas da madeira.

Em relação aos princípios da propagação de ondas mecânicas, a avaliação não destrutiva de madeira por meio da técnica de emissão de ondas, ou seja, método de ultrassom, atualmente, aparece como sendo um dos mais aplicados e promissores, em função da facilidade de operação e custo relativamente baixo na aquisição e operacionalização do equipamento, quando comparado aos equipamentos utilizados em ensaios destrutivos.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso da constante elástica dinâmica obtida por meio de ensaio não-destrutivo (ultrassom) como parâmetro na estimativa das propriedades mecânicas (módulos de elasticidade e de ruptura) da madeira de Açóita cavalo, Nogueira pecã e Plátano, obtidas por meio de ensaio destrutivo (flexão estática).

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizadas três espécies florestais para os testes de ultrassom. O material foi fornecido por uma empresa parceira, localizada em Caxias do Sul, na serra gaúcha, compreendendo lotes de madeira das espécies *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Carya illinoensis* (nogueira-pecã), e *Platanus x acerifolia* (plátano). Os indivíduos de cada espécie foram selecionados em conformidade com as normas COPANT 30:1 - 001 (1971) e ASTM D5536-94 (1995).

A madeira foi classificada de forma a inibir imperfeições ligadas ao crescimento e desenvolvimento anormal do lenho, além de defeitos como ocorrência de nós, rachaduras e lenhos de reação. Defeitos inerentes à exposição do material a organismos xilófagos, como apodrecimento, galerias ou quaisquer danos estruturais causados por tais organismos também foram evitados. A medição das propriedades foi feita em corpos de prova (CP), com as seguintes dimensões: 1,0 x 1,0 x 20,0 cm (radial x tangencial x longitudinal).

Anteriormente aos ensaios, destrutivo e não-destrutivo, os CPs foram condicionados em uma câmara climatizada (20° C de temperatura e 65 % de umidade relativa do ar) até o momento em que os mesmos demonstraram um teor de umidade de equilíbrio equivalente a 12%.

Posteriormente, obteve-se a massa específica aparente a 12% de umidade com a utilização de um paquímetro digital (com resolução de 0,01mm) e balança analítica (com resolução de 0,001g) para a mensuração das dimensões e massa dos corpos de prova. Para tanto utilizou-se a equação:  $Mea_{12\%} = (m_{12\%}) / (v_{12\%})$ , em que:  $Mea_{12\%}$ : massa específica aparente a 12% de umidade;  $m_{12\%}$ : massa a 12% de umidade;  $v_{12\%}$ : volume a 12% de umidade.

Após foram realizadas as leituras de tempo de propagação de onda ultrassônica com transdutores tipo ponta seca e frequência de 45 hz. A partir da distância percorrida pela onda e do tempo de propagação da mesma calcula-se a velocidade, utilizada juntamente com a massa específica aparente para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Tal propriedade é determinada por meio da equação  $E_d = V_{som}^2 * Mea$ , em que:  $V_{som}$ : velocidade da onda ultrassônica ( $m.s^{-1}$ );  $Mea$ : massa específica aparente.

Para a comparação dos dados obtidos por métodos não destrutivos foram obtidos os módulos de elasticidade e ruptura por flexão estática (método destrutivo) realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca EMIC, sendo o teste conduzido em conformidade com a normativa ASTM D 143 – 94.

De posse dos dados foram análises de variância para a comparação das propriedades entre as espécies e verificadas as correlações de Pearson para as propriedades mecânicas obtidas por ensaios destrutivos e não destrutivos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentadas através de testes os valores médios das variáveis avaliadas nesse estudo. Pode-se observar que tais propriedades variam significativamente entre as espécies.

Podemos afirmar pelas médias observadas, que as madeiras de Plátano e Açoita-cavalo apresentaram o maior e o menor módulo de elasticidade, respectivamente. A primeira espécie citada mostrou maior resistência mecânica em relação as outras.

**Tabela 1** – Valores médios para as variáveis em estudo.

Espécie	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Mea (kg.m3)	Ed (MPa)
Açoita-cavalo	8373,92 a (1815,52)	87,962 a (12,71)	0,62 a (0,02)	10764,9 a (1291,8)
Nogueira-pecã	8465,63 a (2037,13)	96,462 ab (16,25)	0,76 c (0,06)	10973,8 a (3555,06)
Plátano	9876,49 a (1458,13)	101,944 b (10,54)	0,71 b (0,03)	15155,2 b (1868,59)
Teste F	3,34	4,16*	55,98*	15,51*

Em que: \*Significativo em nível de 95% de confiança. MOE= Módulo Elástico; MOR= Módulo de Ruptura; Mea= Massa Específica; Ed= Módulo Elástico Dinâmico.

Com base no Módulo de Ruptura (MOR) as espécie de Plátano e Açoita-cavalo apresentaram a mesma tendência. Para a propriedade estimada por método não destrutivo (Ed) também foi observada a madeira de plátano com maior valor médio, situando-se em grupo diferente estatisticamente.

**Tabela 2** – Correlação linear de Pearson entre as variáveis

Açoita cavalo				
	MOE	MOR	Mea	Ed
MOE	1	0,88*	0,25	0,11
MOR		1	0,44	0,25
Mea			1	0,04
Ed				1
Nogueira pecã				
	MOE	MOR	Mea	Ed
MOE	1	0,95*	0,20	0,13
MOR		1	0,22	0,04
Mea			1	0,03
Ed				1
Plátano				
	MOE	MOR	Mea	Ed
MOE	1	0,83*	0,02	0,07
MOR		1	0,12	0,12
Mea			1	-0,03
Ed				1

Em que: \* Teste feito com 95% de confiança.

Pode-se ressaltar através da Tabela 2, que existem correlações não significativas para as propriedades, excetuando-se para MOE x MOR, para o total de espécies. Em virtude de tais resultados não foram efetuadas análises de regressões para a estimativa das propriedades mecânicas por método ultrassonor, em virtude de ter apresentado baixa velocidade de propagação das ondas ultrassônicas pelo emprego de transdutores de pontos secos.

Resultados de pesquisas (COSTA, 2005) descrevem altos valores de velocidade obtidos por transdutores de pontos secos, em que as ondas não apresentam-se efetivamente longitudinais em virtude do ângulo variável entre os transdutores e a superfície da madeira.

#### **4. CONCLUSÃO**

Com base nos resultados obtidos, constatamos que os métodos destrutivo e não-destrutivo, para o trabalho em questão, são divergentes na caracterização da madeira.

Sendo assim, recomenda-se estudos com o método ultrassonoro com aparelhos de boa precisão e transdutores de face plana, juntamente com a busca por uma maior precisão das medidas destrutivas e de massa específica.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

STANGERLIN, D. M. et al. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum*. **Ciência da Madeira**, v. 01, n. 02, p. 44-53, 2010.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal, Madison**, v.9, n.11, p.413-416, 1959.

ROSS, R. J. et al. Nondestructive evaluation of wood. **Madison: Forest Products Laboratory**, 14-19, 1998.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review. **Madison: Department of Agriculture - Forest Service, Forest Products Laboratory**, p.28, 1994.

WANG, S.Y. et al. Grading of softwood lumber using non-destructive techniques. **Journal of Materials Processing Technology**, v.208, p.149-158, 2008.

ASTM STANDARD D143 1994 (2014). Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. **Annual Book of ASTM Standard**. West Conshohocken, PA, 2014: ASTM International.

COSTA, O. A. L. **Velocidade de propagação de ondas de ultra-som na madeira para diferentes condições de umidade**. 2005. 92f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas.