

## PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSONORAS NA ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

RODEGHIERO, Queila da Silva<sup>1</sup>; PERES, Matheus Lemos de<sup>2</sup>; BELTRAME, Rafael<sup>2</sup>; GATTO, Darci Alberto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias – [queila.rodeghiero@hotmail.com](mailto:queila.rodeghiero@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [matheusldeperes@gmail.com](mailto:matheusldeperes@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná – [beltrame.rafael@yahoo.com](mailto:beltrame.rafael@yahoo.com)

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

### 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Bodig e Jayne (1982), a madeira apresenta grande variabilidade em suas propriedades, o que é resultado em parte, das condições de crescimento das árvores.

A caracterização mecânica da madeira é realizada com maior precisão através de métodos destrutivos, que além de oneroso, na maioria das vezes inviabiliza a utilização futura do material.

Por outro lado, existem as avaliações de natureza não-destrutiva, que tem por finalidade a obtenção direta ou indireta de dados rápidos de propriedades sonoras, físicas e mecânicas da madeira. Dentre esses métodos podem-se citar os medidores de umidade portáteis, extensômetro para avaliação de tensões de crescimento e o ultrassom, que é utilizado na relação da velocidade da onda com a massa específica da madeira. O grande diferencial das técnicas não-destrutivas em relação à caracterização destrutiva é a rapidez na obtenção da informação com um menor volume de trabalho.

Segundo Calegari (2006) os processos envolvidos na propagação de ondas de ultrassom são relativamente simples. De maneira resumida, um circuito eletrônico emite pulsos elétricos conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezoelétrico, localizado nos transdutores. As vibrações mecânicas se deslocam pelo material, que atenua o sinal emitido pelo gerador. O sinal retardado é recuperado por outro cristal piezoelétrico, sendo então amplificado e transformado em pulsos elétricos novamente, permitindo a medição do tempo de propagação. A partir da distância e do tempo de percurso da onda sonora se calcula a velocidade da mesma.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo estimar o módulo de elasticidade dinâmico e por meio da propagação de ondas ultrassônicas das madeiras de *Melia azedarach* (cinamomo) e *Cariniana* sp. (jequitibá) e comparar com os módulos de elasticidade e ruptura obtidos por flexão estática.

### 2 METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo foram utilizadas madeiras de *Melia azedarach* (cinamomo) e *Cariniana* sp. (jequitibá),

Foi calculado a massa específica das madeiras, a 12% de umidade, utilizando um paquímetro digital e uma balança analítica para a medição das dimensões e massa dos corpos-de-prova. Para isto empregou-se a seguinte equação:

$$ME_{a12\%} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (1)$$

Em que:  $ME_{a12\%}$  = massa específica aparente a 12% de umidade;  $m_{12\%}$  = massa a 12%;  $V_{12\%}$  = volume a 12% de TU.

Após isto foi realizado o ensaio não-destrutivo, para a efetuação do ensaio foi utilizado equipamento de ultrassom dotado de transdutores de pontas secas com frequência de aproximadamente 45 kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas em microssegundos. Determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) por meio do produto entre a velocidade de propagação e a massa específica da madeira:

$$E_d = V_{som}^2 * ME_a \quad (2)$$

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

Com o objetivo de estimar a relação de proximidade do método ultrassonor com o método destrutivo, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de flexão estática, com posterior obtenção dos módulos de elasticidade e de ruptura, utilizando-se uma máquina universal de ensaio, atendendo-se, no geral, às prescrições da norma ASTM D143-94 (1994).

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das variáveis analisadas nesse estudo. É possível observar que tais propriedades variam entre as duas espécies.

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

Espécie	MOE (MPa)	MOR (MPa)	$ME_{a12\%}$ ( $kg.m^{-3}$ )	$E_d$ (MPa)
Cinamomo	8403,68 a	96,33 a	0,52 a	3670,98 a
	776,08	11,66	0,03	218,398
Jequitibá	15485,5 b	124,37 b	0,71 b	5809,25 b
	2206,5	24,46	0,07	433,078
Teste F	165,01*	19,27*	121,07*	349,83*

Em que: \*significativo ao nível de 95% de confiança (HSD-Tukey); médias seguidas de letras diferentes apresentam diferença estatística; Valores subscritos representam os desvios padrões.

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) foram menores do que os obtidos para o módulo de elasticidade em ensaios estáticos (MOE) nas duas espécies, com maior ênfase no Jequitibá.

Na Tabela 2 observam-se as correlações de Pearson para as propriedades analisadas. Verificaram-se correlações significativas entre as propriedades mecânicas de MOR e  $E_d$  e a massa específica para as duas espécies. Tais resultados indicam a possibilidade e estimação do módulo de ruptura por método ultrassônico. Em adição, para a espécie de jequitibá foi observada correlação significativa também entre os módulos de elasticidade e ruptura.

Entretanto, para o módulo de elasticidade estático, a correlação não significativa como o  $E_d$  indica que a estimativa daquele não é aconselhada. As fracas correlações encontradas são relacionadas aos erros de medida nos aparelhos. A utilização de transdutores de pontos secos pode ter contribuído para tais resultados.

**Tabela 2** - Correlações de Pearson entre as variáveis.

Cinamomo				
	MEa	MOE	MOR	Ed
MEa	1	0,31	0,67*	0,92*
MOE		1	0,26	0,45
MOR			1	0,67*
Ed				1

  

Jequitibá				
	MEa	MOE	MOR	Ed
MEa	1	0,25	0,58*	0,93*
MOE		1	0,84*	0,16
MOR			1	0,36
Ed				1

Em que: \*significativo ao nível de 95% de confiança ao teste HSD-Tukey.

Segundo Nesvijski (2003) os transdutores de ponto seco, dependendo do modo em que são dispostos no material sólido, podem gerar ondas sem direção definida de propagação, o que faz com que sua velocidade seja inferior quando comparada as ondas geradas por transdutores de faces planas, tradicionalmente empregados.

## 2 CONCLUSÕES

Tendo em vista os aspectos observados pode-se concluir que o ultrassom é um método promitente para a estimativa das propriedades mecânicas da madeira, em função da facilidade de operação e custo relativamente baixo, porém para obter resultados mais acurados faz-se necessário o uso de outras técnicas de emissão de ondas, como por exemplo, transdutores de face plana.

## 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BODIG J., JAYNE B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Van Nostrand Reinhold, 1982.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultrassônica como meio de controle do processo de secagem da madeira.** 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CARRASCO, E., JÚNIOR, A; Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultrassom –Fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne, Lavras**, v. 9, n. 2, p. 178-191, jul./dez. 2003.

DEL MENEZZI, C., SILVEIRA, R., SOUZA; Estimativa das Propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **ACTA Amazônica**, v. 40, n. 2, p. 325-332, 2010.

OLIVEIRA, F., CANDIAN, M., LUCCHETTE, F., CALIL, C., SALES, A.; Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de meio de ultra-som. **PANNDT**, Rio de Janeiro

SCHNEID, E., GATTO, D.A., CADEMARTORI, P., HAMM, L., STANGERLIN, D; Avaliação não destrutiva de postes de madeira utilizados na rede elétrica na região metropolitana de Porto Alegre. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 01, p. 43-52, Maio de 2011.

STANGERLIN, D., CADEMARTORI, P., GATTO, D.A., CALEGARI, L., MELO, R., VIVIAN, M., MODES, K.; Propagação indireta e semidireta de ondas ultrassônicas na estimativa de propriedades mecânicas da madeira. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 02, p. 85-95, Novembro de 2011.

NESVIJSKI, E.G. On design of ultrasonic transducers and accuracy of velocity measurements. **e-Journal of Nondestructive Testing**, v.5, n.2, n.p., 2003