

## AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE PAINÉIS AGLOMERADOS MADEIRA-BAMBU POR MEIO DE ULTRASSOM

Diego Martins Stangerlin<sup>1</sup>, Rafael Rodolfo de Melo<sup>1</sup>, Darci Alberto Gatto<sup>2</sup>, Leandro Calegari<sup>3</sup>,  
Pedro Henrique Gonzalez de Cadermatori<sup>2</sup>, Raul Silvestre<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>UnB, Brasília-DF; <sup>2</sup>UFPEL, Pelotas-RS; <sup>3</sup>UFV, Viçosa-MG  
e-mail: diego\_stangerlin@yahoo.com.br

**RESUMO:** A existência de espaços vazios e descontinuidades em materiais compostos, como os painéis aglomerados, podem influir na propagação da onda, dissipando-a e aumentando o tempo da propagação. Com o objetivo de avaliar o emprego de técnicas ultra-sonoras para estimar as propriedades mecânicas de painéis aglomerados, estabeleceu-se no presente estudo, a correlação dos módulos de elasticidade de painéis aglomerados madeira-bambu obtidos por ensaios destrutivos de flexão estática e não-destrutivo com ultra-som. Para tanto, foram confeccionados painéis madeira-bambu com cinco diferentes proporções das partículas e colados com uréia-formaldeído. Confeccionaram-se 20 painéis aglomerados, sendo quatro para cada tratamento, com dimensões de 50 x 50 x 0,95 cm e massa específica nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Apesar da diferença significativa entre as médias dos módulos de elasticidade obtidos pelas duas metodologias, o uso do aparelho de ultrassom mostrou ser uma ferramenta eficiente para avaliação não-destrutiva de painéis aglomerados.

**Palavras-chave:** ondas ultra-sônicas; módulo de elasticidade dinâmico; módulo de elasticidade estático; transdutores de faces planas.

### INTRODUÇÃO

Na atualidade uma das tendências mais evidentes na indústria madeireira é a expansão da produção dos chamados painéis à base de madeira. Estes têm se mostrado uma alternativa interessante em relação à madeira serrada pelo fato de viabilizarem a utilização de quase 100% de uma tora, como também não impõem restrições ao emprego de espécies de reflorestamento, de rápido crescimento e de baixa massa específica (MORALES, 2006).

As chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material ligno-celulósico que lhes confirmam alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida. Além da madeira, podem ser utilizadas na confecção de compósitos aglomerados outras fontes de fibras, como bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de arroz, aparas de papel reciclado, dentre outros (MELO et al., 2009). Entretanto, a qualidade final do produto, pode ser limitada pela escolha do material.

A utilização de métodos não-destrutivos (NDT) para a avaliação das propriedades da madeira e de seus subprodutos é bastante difundida, e remonta desde a década de 1960 (JAYNE, 1959), no Brasil essa técnica começou a ser estudada apenas no final da década de 1990. Os métodos NDT podem ser definidos, segundo Pellerin & Ross (2002), como sendo aqueles que identificam propriedades físicas e mecânicas de materiais sem alterar sua capacidade de uso final, para em seguida usar essa informação na tomada de decisão com relação a uma aplicação apropriada. O grande diferencial dos NDT em relação à caracterização destrutiva é a rapidez na obtenção da informação com um menor volume de trabalho.

Segundo Stangerlin et al. (2008), diversos pesquisadores têm demonstrado a viabilidade do uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira. No entanto, segundo Han et al. (2006), a existência de espaços vazios e descontinuidades em materiais compostos, como aglomerados, podem influir na propagação da onda, dissipando-a e aumentando o tempo da propagação. Com o objetivo de avaliar o emprego de técnicas ultra-sonoras para estimar as propriedades mecânicas de painéis aglomerados, estabeleceu-se no presente estudo, a correlação do módulo de elasticidade de painéis aglomerados madeira-bambu obtido por ensaios destrutivos de flexão estática e não-destrutivo com ultrassom.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para confecção dos painéis madeira-bambu foram utilizadas partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e do bambu *Bambusa vulgaris* Schr. A madeira de *Eucalyptus grandis* foi obtida de três árvores plantadas em povoamentos florestais homogêneos de aproximadamente 15 anos, enquanto que os colmos de *Bambusa vulgaris* foram obtidos de aproximadamente 50 exemplares, ambos localizados em áreas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria, RS.

Os painéis madeira-bambu foram confeccionados com cinco diferentes proporções de partículas e colados com uréia-formaldeído. Ao todo, foram confeccionados 20 painéis aglomerados, sendo quatro para cada tratamento (T1= 100% madeira; T2= 75% madeira + 25% bambu; T3= 50% madeira + 50% bambu; T4= 25% madeira + 75% bambu; T5= 100% bambu), com as dimensões de 50 x 50 x 0,95 cm e massa específica nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

Os ensaios não-destrutivos foram realizados com equipamento portátil de ultrassom TICO, modelo PROCEQ, dotado de transdutores de pontos secos com frequência de aproximadamente 50 kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas, em microssegundos (μs). A determinação do tempo de propagação das ondas foi realizada pelo método de transmissão direto. Em cada painel foram demarcados seis pontos de avaliação do tempo de propagação da onda, conforme se pode visualizar na Figura 1.

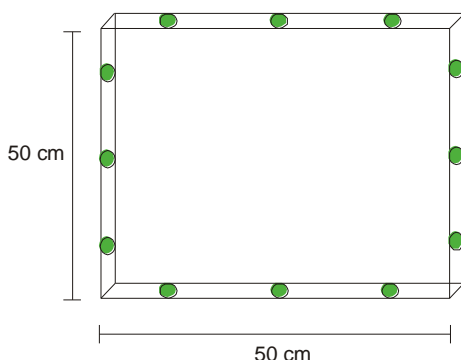


Figura 1. Metodologia adotada para avaliação do tempo de propagação da onda ultra-sonora em cada painel.

Foram realizadas, em cada ponto, duas leituras do tempo de propagação da onda, a partir da razão entre a média das leituras e o comprimento do trecho percorrido pela onda, calculou-se a velocidade de propagação.

O módulo de elasticidade dinâmico, de cada painel, foi obtido pelo produto dos valores médios da velocidade de propagação da onda com a massa específica (Equação 1).

$$MOE_{din} = ME * V^2 \quad (1)$$

Em que:  $MOE_{din}$ = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa);  $V$ = Velocidade de propagação da onda ( $m s^{-1}$ );  $ME$ = Massa específica da madeira a 12% de umidade ( $kg m^{-3}$ ).

Para avaliação da acurácia do emprego do ultrassom foram retiradas, de cada painel, seis amostras, com dimensões nominais de 0,95 x 7,5 x 29 cm (espessura, largura e comprimento), sendo estas submetidas a ensaios destrutivos de flexão estática, adotando recomendações da norma ASTM D1037 (1998).

Os resultados foram interpretados, utilizando pacote estatístico Statgraphic Centurion, com auxílio de testes de médias (LSD Fisher,  $p > 0,05$ ) e análise de regressão linear, em que a variável independente foi o módulo de elasticidade dinâmico obtido em ensaio de ultrassom e a variável dependente foi o módulo de elasticidade estático obtido em ensaio de flexão estática.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O módulo de elasticidade dinâmico ( $MOE_{din}$ ) obtido pelo método ultra-sonoro foi superior ao módulo de elasticidade estático ( $MOE_{est}$ ) verificado pelo ensaio destrutivo (Tabela 1), resultado semelhante ao verificado por Morales (2006) ao estudar painéis OSB. Na caracterização do comportamento mecânico da madeira sólida, comumente, são verificados valores de  $MOE_{din}$  superiores ao  $MOE_{est}$ , devido a sua natureza visco-elástica (STANGERLIN et al., 2008). Castellanos (2003) reporta um quociente de 1,25 a 1,28 entre  $MOE_{din}$  e  $MOE_{est}$  para painéis aglomerados de diferentes espécies, no entanto para os painéis aglomerados madeira-bambu esse quociente oscilou entre 1,47 e 2,14, aumentando com o acréscimo da percentagem de bambu. Além disso, pode-se observar que as médias de MOE, obtidas pelas duas metodologias, diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de confiança.

Grundström (1998), estudando a propagação de ondas ultra-sonoras em painéis aglomerados com partículas de coníferas coladas com resina uréia formaldeído e massa específica de  $0,682 \text{ g/cm}^3$  encontrou valores médios de  $MOE_{din}$  de 2300 MPa. Esse resultado descrito pelo autor é inferior ao verificado no presente estudo considerando a propagação da onda nos cinco diferentes painéis fabricados. Por sua vez, Castellanos (2003) ao analisar painéis aglomerados, confeccionados com mistura de espécies, por meio de ondas de tensão verificou valores de  $MOE_{din}$  entre 3480 e 2670 MPa, valores mais próximos ao registrado neste estudo.

A adição das partículas de bambu ocasionou decréscimo no  $MOE_{din}$  e  $MOE_{est}$  dos painéis, sendo o painel 1 (100% madeira) estatisticamente diferente dos demais, ao nível de 95% de confiança. Baseando-se na norma ANSI A208.1 (ANSI, 1987), somente os painéis 1 e 2 obtiveram valores de  $MOE_{est}$  acima do mínimo requerido de, aproximadamente, 1760 MPa.

Tabela 1. Módulo de elasticidade (MPa) obtido por ensaios de flexão estática e de ultrassom.

Painel	Flexão Estática	Ultrassom	$MOE_{din}/MOE_{est}$
1	2472,46 <sup>B a</sup>	3634,77 <sup>A a</sup>	1,47
2	1862,18 <sup>B b</sup>	3173,07 <sup>A b</sup>	1,70
3	1662,30 <sup>B c</sup>	2926,90 <sup>A c</sup>	1,76
4	1528,81 <sup>B c</sup>	2906,39 <sup>A c</sup>	1,90
5	1285,14 <sup>B d</sup>	2749,70 <sup>A c</sup>	2,14

Em que: Médias seguidas na horizontal, por uma mesma letra maiúscula ou na vertical, por uma mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD Fisher,  $p > 0,05$ .

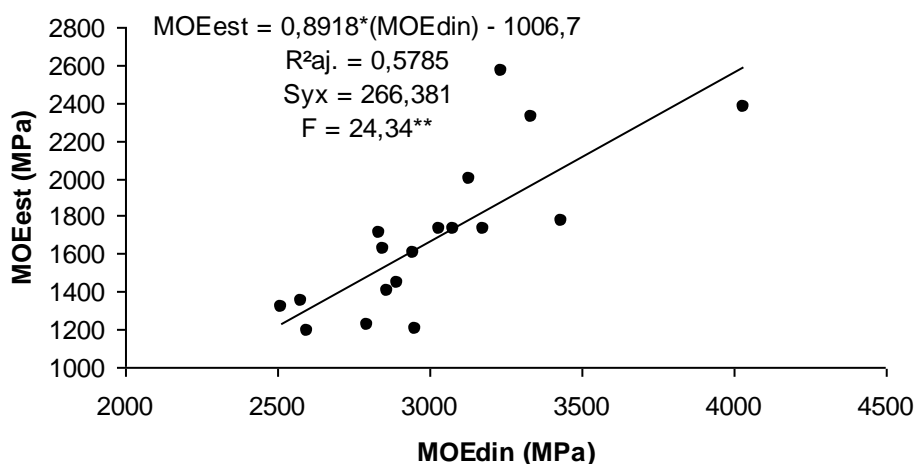


Figura 2. Correlação entre as médias do módulo de elasticidade estático ( $MOE_{est}$ ) e o módulo de elasticidade dinâmico ( $MOE_{din}$ ) obtidos em cada painel.

Na Figura 2, verifica-se com a regressão linear que 57,85% da variação do  $MOE_{est}$  pode ser explicado pela variação do  $MOE_{din}$ . Ross & Pellerin (1988) e Castellanos (2003) aplicando ondas de tensão em painéis aglomerados verificaram correlações superiores a 90%. Apesar do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) ter sido inferior ao verificado em outros estudos, a avaliação de parâmetros estatísticos, como o valor de F (significativo ao nível de 99% de confiança), erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ) e análise de resíduos da regressão permitem afirmar que o  $MOE_{din}$  é um bom estimador para o  $MOE_{est}$ .

## CONCLUSÃO

O método ultra-sonoro foi uma importante ferramenta para inferência não-destrutiva do MOE dos painéis aglomerados madeira-bambu. Apesar dos valores absolutos dos MOE obtidos pelas duas metodologias serem diferentes, o método ultra-sonoro foi eficiente por avaliar, de forma rápida e eficaz, as diferenças relativas à qualidade de cada tipo de painel.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI-A-208.1-87. **Mat-formed wood particleboard**. New York, 1987.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D-1037. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v.04.09, 1998.
- CASTELLANOS, J.R.S. Caracterización mecánica de madera reconstituida: modulo de elasticidad de tableros de partículas de madera evaluado con metodos no destructivos. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, v.5, n.1, p.20-43, 2003.
- GRUNDSTRÖM, F. **Non-destructive testing of particleboard with ultra sound and eigen frequency methods**. Dissertação (Mestrado), Luleå Tekniska Universitet/Programme in Mechanical Engineering. Skellefteå, Norway. 58f. 1998.
- HAN, G. et al. Stress-wave velocity of wood-based panels: effect of moisture, product type and material direction. **Forest Products Journal**, v.56, n.1, p.28-33, 2006.
- JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**, v.9, n.11, p. 413-416, 1959.
- MELO, R.R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria/PPGEng. Florestal. Santa Maria-RS. 77f. 2009.
- MORALES, E.A.M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo/PPGInterunidades Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos-SP. 94f. 2006.
- PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: Forest Products Laboratory, 2002. 210p.
- ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. **Forest Products Journal**, v.38, n.5, p.39-45, 1988.
- STANGERLIN, D.M. et al. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.