

## Módulo de elasticidade dinâmico e estático da madeira de Jamelão

Carolina Nogueira Xavier<sup>1</sup>; Pedro Henrique de Paula Silva<sup>2</sup>; Enzo Messias Custodio Niza<sup>2</sup>; Wigor Deivid de Melo Santos<sup>2</sup>; José Reinaldo Moreira da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras; <sup>2</sup>Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/UFLA / Universidade Federal de Lavras; <sup>3</sup>Professor Titular no Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras.

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi verificar a correlação existente entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático e avaliar a eficiência da utilização da técnica de vibração transversal para estimar o módulo de elasticidade dinâmico nas madeiras de Jamelão. Foi utilizada a madeira de sete árvores de Jamelão, confeccionados quatro corpos de prova de cada árvore, os mesmos foram armazenados em sala climatizada com temperatura e umidade controlada para garantir que as madeiras apresentavam 12% de umidade durante os ensaios. Para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado o ensaio de vibração transversal, utilizando o equipamento *sonelastic*. Os mesmos corpos de prova foram utilizados para determinação do módulo de elasticidade estático na máquina de ensaio universal. O valor médio do módulo de elasticidade dinâmico e estático foi de 11570 e 12099 Mpa, respectivamente. Foi observada correlação positiva e alta ( $r=0,88$ ) entre os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos.

**Palavras-chave:** *Sonelastic*, Propriedades mecânicas, Método não destrutivo.

### Dynamic and static elastic modulus of Jamelão wood

**Abstract:** The objective of this work was to verify the correlation between the static and dynamic modulus of elasticity and to evaluate the efficiency of the use of the transversal vibration technique to estimate the dynamic modulus of elasticity in Jamelão wood. The wood of seven Jamelão trees, four specimens of each tree, were stored in an air-conditioned room with temperature and controlled humidity to ensure that the wood presented 12% humidity during the tests. To determine the dynamic modulus of elasticity, the transversal vibration test was performed using the *sonelastic* equipment. The same specimens were used to determine the static modulus of elasticity in the universal test machine. The mean value of the dynamic and static modulus of elasticity was 11570 and 12099 Mpa, respectively. Positive and high correlation ( $r = 0.88$ ) was observed between dynamic and static elastic modulus.

**Keywords:** *Sonelastic*, Mechanical properties, Non-destructive method

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que pode ser utilizado para múltiplos usos, pode-se destacar a utilização na construção civil em estruturas de madeira. Para esse uso uma das propriedades mais importantes a ser analisada é a mecânica, já que é utilizada para os cálculos estruturais.

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira a metodologia comumente usada é a destrutiva, em que utiliza a máquina de ensaio universal. Contudo existe a avaliação não destrutiva, que é definida por Ross et al. (1998) como sendo a ciência da identificação das propriedades físicas, químicas ou mecânicas de uma peça sem alterar a capacidade de uso final.

Na década de 1960 foi desenvolvido o método de excitação por impulso utilizando o equipamento Grindosonic. Em que o corpo de prova é excitado em um determinado modo de vibração por um impulso. O equipamento capta esta vibração com um sensor piezoelétrico ou microfone e informa ao usuário a respectiva frequência de ressonância, a partir da qual são calculados os módulos de elasticidade (Cossolino & Pereira, 2010). A partir de 1990 foi aprimorada a técnica e desenvolvido sistemas de medição automatizados para a caracterização dos módulos elásticos de materiais (Lins et al., 1999). Estes sistemas são baseados em computador e apresentam diversas vantagens em relação ao Grindosonic, principalmente na discriminação das frequências, como por exemplo o Sonelastic (Cossolino & Pereira, 2010). O princípio dos métodos dinâmicos consiste em calcular os módulos elásticos a partir das frequências naturais de vibração do corpo de prova e de seus parâmetros geométricos (Kaneko, 1960).

Para corpos de prova prismáticos podem ser empregados três diferentes modos de vibração longitudinal, flexional ou transversal e torcional. Os dois primeiros permitem o cálculo do módulo de elasticidade e o último possibilita a determinação do módulo de deformação transversal e o coeficiente de Poisson. O método é realizado em duas etapas, a primeira consiste na excitação, detecção e obtenção das frequências de ressonância, e a segunda no emprego de relações matemáticas e dos procedimentos computacionais, para obtenção dos módulos elásticos a partir das frequências de ressonância (Cossolino & Pereira, 2010).

A técnica por vibração transversal é considerada de grande relevância na determinação do módulo de elasticidade da madeira, é capaz de apresentar respostas rápidas e correlações lineares elevadas (em média  $R^2=0,8$ ), além do custo do ensaio ser relativamente baixo (Segundinho et al., 2012; Targa et al., 2005).

O objetivo é verificar a correlação existente entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático e avaliar a eficiência da utilização da técnica de vibração transversal para estimar o módulo

de elasticidade dinâmico e estático nas madeiras de Jamelão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

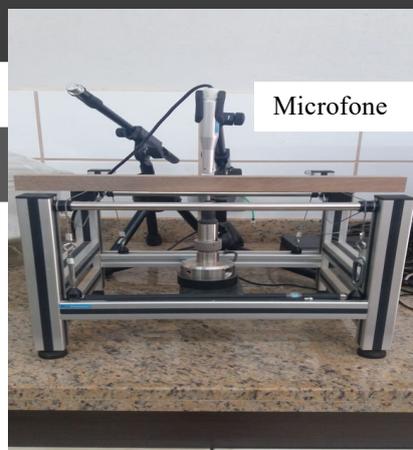
### 2.1 Procedência e amostragem do material

Foram utilizadas sete árvores de *Syzygium cumini* (L.) Skeels, conhecida popularmente como Jamelão. As árvores foram suprimidas com a licença de corte n°002920 da Zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, onde fica localizado o campus da Fiocruz Mata Atlântica.

O processamento da madeira ocorreu no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA). Foram confeccionados quatro corpos de prova da região intermediária, ou seja, entre o alborno e o cerne de cada árvore, com dimensão de 41 x 2,5 x 2,5 cm conforme determinação da ASTM D143:2014. Os corpos de prova ficaram armazenados em sala climatizada com a temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $60\% \pm 5\%$ , nesta condição os corpos de prova apresentavam umidade em torno de 12%.

### 2.2 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico por vibração transversal

Para determinar o módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração, utilizou-se o equipamento denominado *Sonelastic*. Os corpos de prova ficam apoiados pelo suporte de fios de aço. O equipamento possui um microfone que capta as ondas sonoras propagadas no corpo de prova, que são geradas após o impacto do bastonete em uma das extremidades (Figura 1).



**Figura 1.** Equipamento sonelastic

Os dados foram processados simultaneamente no software ATCP Sonelastic 2.8 e os módulos elásticos dinâmicos são calculados pelo mesmo. Os dados da massa e dimensões dos

corpos de prova são necessários e foram mensurados por balança e paquímetro digital, respectivamente. Os corpos de prova foram avaliados no modo vibracional flexional.

### 2.3 Determinação do módulo de elasticidade estático

No ensaio para determinar o módulo de elasticidade estática foi utilizado a máquina de ensaio universal. A análise foi realizada de acordo com a ASTM D143:2014, utilizou-se o vão de 36 cm com a carga aplicada continuamente de 1,3mm/min.



**Figura 2.** Ensaio de flexão estática na máquina de ensaio universal

### 2.4. Análise estatística

Foi feita a estatística descritiva, a correlação de Pearson entre as variáveis módulo de elasticidade dinâmico e estático e avaliou-se ainda a regressão linear, com auxílio do software Action 2.9.

## 3. RESULTADOS

Na Tabela 1 estão descritos os valores médios, mínimos, máximos e o coeficiente de variação do módulo de elasticidade dinâmico e estático das madeiras de Jamelão.

**Tabela 1.** Valores médios, mínimos, máximos e coeficiente de variação do módulo de elasticidade dinâmico e estático.

	MOE dinâmico (Mpa)	MOE estático (Mpa)
Média	11570	12099
Mínimo	7780	8060
Máximo	14350	16481
Coeficiente de variação (%)	15,98	19,70

Na Figura 3 está representado o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,77$ ) entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático. E a equação linear, em que pode estimar o módulo de elasticidade estático (y) pelo módulo de elasticidade dinâmico (x).

$$y = -1013 + 1,13x$$

**Figura 3.** Regressão linear e correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático.

#### 4. DISCUSSÃO

O valor médio para o módulo de elasticidade dinâmico foi de 11570 Mpa, variando entre 7780 a 14350 Mpa. O módulo de elasticidade estático médio foi de 12099 Mpa, com valor mínimo de 8060 Mpa e máximo de 16481 Mpa. O módulo de elasticidade estático foi 4,37% maior em relação ao dinâmico.

A madeira de Jamelão em relação ao módulo de elasticidade estático pode ser equiparada a madeira de Angelim araroba, cujo módulo de elasticidade é de 12876 Mpa (ABNT, 1997).

Os coeficientes de variação encontrados de 15,98 e 19,70%, respectivamente para os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos, ficaram dentro dos limites aceitáveis para ensaios mecânicos ( $C.V. \leq 20\%$ ) (Targa et al., 2005).

O coeficiente de determinação da regressão linear ( $R^2$ ) encontrado foi de 0,77, significando que 77% da variável dependente (módulo de elasticidade estático) é explicada pela variável independente (módulo de elasticidade dinâmico). Para *Pinus oocarpa* Segundinho et al (2012) também encontraram  $R^2 = 0,77$ .

O coeficiente de correlação (r) foi de 0,88, indicando correlação positiva e forte (Callegari-Jacques, 2003) entre as variáveis de módulo de elasticidade dinâmico e estático.

#### 5. CONCLUSÕES

A correlação existente entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático foi positiva e forte.

A técnica de vibração transversal mostra-se confiável para estimar o módulo de elasticidade dinâmico das madeiras de jamelão de forma rápida e não destrutiva.

#### 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fiocruz Mata Atlântica pelo apoio de toda equipe para a realização dessa pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS

American Society For Testing And Materials. ASTM D-143 – Standard methods of testing small clear specimens of timber, Philadelphia, USA, 31p. 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira – São Paulo, 107p. 1997.

Callegari-Jacques SM. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed; 2003.

Cossolino LC, Pereira AHA. Módulos elásticos: visão geral e métodos de caracterização. Informativo Técnico Científico. 2010. [cited 2019 mai. 31]. Available from: <http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/sonelastic/artigos/RT03-ATCP.pdf>.

Kaneko T. Relation Between Flexional Resonant Frequency Equations for the Flexional Vibration of Cylindrical Rods. J. Res. Natl. Bur. Stand 1960; 64:237.

Lins W, Kaindl G, Peterlik H, Kromp K. A novel resonant beam technique to determine the elastic moduli in dependence on orientation and temperature up to 2000 C. Review of Scientific Instruments 1999; 70(7): 3052-3058.

Ross RJ, Brashaw BK, Pellerin RF. Nondestructive evaluation of wood. Forest Products Journal 1998 ; 48(1):14-19.

Segundinho PG, Cossolino LC, Pereira AHA, Calil Junior C. Analysis of the natural vibration frequency test method to obtain the modulus of elasticity of Wood structural components. Revista Árvore 2012; 36(6):1155-1161.

Targa LA, Ballarin AW, Buaggioni MAM. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. Eng. Agríc. 2005; 25(2):291-299.