Estimativa do módulo de elasticidade da madeira de *Bertholletia excelsa* pelo método de ultrassom

Taiane Oliveira Guedes[1]; Jonnys Paz Castro[2]; José Reinaldo Moreira da Silva[1]; João Vicente de Figueiredo Latorraca[2]

[1] Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras; [2] Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais/ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o módulo de elasticidade (E) dinâmico e o estático e entender como ambos relacionam com a densidade do material. Para isso foi utilizada a madeira de *Bertholletia excelsa* para confecção de corpos de prova de compressão, os mesmos foram ensaiados com o equipamento de ultrassom e na máquina universal de ensaios. Foi determinada a densidade aparente (U = 12 %). Foi feita análise de variância e teste t dos métodos e a correlação entre valores de módulo de elasticidade estimados pelo equipamento ultrassom e obtidos pela máquina universal. Foi observado que os valores diferem estatisticamente, no entanto, existe correlação entre os valores de módulo de elasticidade podendo o ultrassom ser utilizado para determinar o módulo de elasticidade com precisão.

Palavras-chave: E_{c0}, Ensaios não destrutivos, Densidade, Castanheira

Estimation of the modulus of elasticity of *Berthollecia excelsa* wood by the ultrasound method

Abstract: The aim of this work was to evaluate the relationship between dynamic and static elastic modulus and to understand how both relate to material density. For this, *Bertholletia excelsa* wood was used to make compression test specimens, they were tested with the ultrasound equipment and in the universal testing machine. The bulk density (U = 12 %) was determined. The analysis of variance and t test of the methods and the correlation between values of modulus of elasticity estimated by the ultrasound equipment and obtained by the universal machine were made. It was observed that the values differ statistically, however, there is a correlation between the values of modulus of elasticity and the ultrasound can be used to determine the elasticity modulus accurately.

Keywords: E_{c0}, Non-Destructive Testing, Density, Castanheira

1. INTRODUÇÃO

Os métodos não destrutivos são de grande interesse para viabilizar pesquisas em relação ao tempo de ensaio, preparo de amostra e principalmente por não alterar a capacidade de uso do material após o ensaio. Esse tipo de técnica vem se consolidando em pesquisas e sendo amplamente utilizado (Sharp, 1985; Pellerin et al., 1991).

A técnica de ultrassom é um importante método não destrutivo baseado em propagação sonora. O sistema de medição determina a velocidade de propagação das ondas de tensão após emissão sonora, que é transmitida por onda longitudinal ao longo do material e captada por sensores piezoelétricos colocados em dois pontos extremos do material (Pellerin & Ross, 2015).

Dentre as possibilidades de pesquisa com a madeira as propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade têm sido cada vez mais explorados pelas técnicas não destrutivas (Brashaw et al., 2009; Biechele et al., 2011; Casado et al., 2012). Técnicas não destrutivas estimam valores de módulo de elasticidade dinâmico enquanto o método clássico utilizando a máquina universal de ensaios determina o módulo de elasticidade estático do material (Lindstrom et al., 2002; Denes et al., 2005; Hu, 2005; Wang et al., 2007). Assim, pesquisas exploram a relação entre os valores obtidos de forma dinâmica e estática (Melo & Menezzi, 2016; Mederos Neto et al., 2016).

Mederos Neto et al. (2016) analisaram o módulo de elasticidade dinâmico e estático de quatro espécies nativas usando o método não destrutivo de vibração transversal e encontrou que as melhores correlações entre os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos foram para as madeiras de menores massas específicas. Outros trabalhos também utilizam técnicas não destrutivas para estimar módulo de elasticidade (Stangerlin et al., 2008; Ballarin & Nogueira, 2005; Ribeiro et al., 2013). Esse trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre os módulos de elasticidade de método destrutivo e não destrutivo da madeira de *Bertholletia excelsa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Foi utilizado madeira de *Bertholletia excelsa*, Castanheira, proveniente de desbaste de plantio experimental da Universidade Federal de Lavras. Foram confeccionados corpos de prova para ensaio mecânico de compressão com dimensões de 15 × 2,5 × 2,5 (ASTM, 1994). Os corpos de prova foram equilibrados em câmara de climatização [T = 20 ± 3 °C e UR = 60 ± 5 %], para estabilização da umidade em 12 %. Foi determinada a densidade aparente do material.

2.2 Ensaio com ultrassom

O ensaio não destrutivo foi realizado com o equipamento ultrassom, o mesmo mede a velocidade de propagação da onda sonora no sentido longitudinal do corpo de prova. Com essa informação é calculado o módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}) (Equação 1).

Em que: E_i = módulo de elasticidade; V = velocidade de propagação da onda ($m.s^{-1}$) e = densidade aparente ($g.cm^3$)

Os corpos-de-prova foram conectados aos transdutores para aferição da velocidade (Figura 1).

Figura 1. Corpo de prova da madeira de *Bertholletia excelsa* conectado aos transdutores do ultrassom para aferição das ondas sonoras

2.3 Máquina universal de ensaios

Os corpos de prova também foram submetidos ao ensaio destrutivo de compressão paralela as fibras para obtenção do módulo de elasticidade estático (E_{c0}) pela máquina universal de ensaios (ASTM, 1994).

3. RESULTADOS

Os valores estimados de módulo de elasticidade dinâmicos e os valores obtidos de módulo de elasticidade estático encontram-se na Tabela 1. Os valores médios de E_i obtidos foram considerados diferentes estatisticamente ($\alpha = 0,05$).

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de módulo de elasticidade da madeira de *Bertholletia excelsa* estático e dinâmico

	E_{c0} (GPa)	E_{din} (GPa)
Média	16,45	17,39
Máximo	19,23	19,58
Mínimo	14,24	15,18
CV (%)	25,9	18,5

E_{c0}= módulo de elasticidade estático; E_{din} = módulo de elasticidade dinâmico;

A correlação de Pearson entre E_{din} e E_{c0} foi de 0,88. Foi feita também a regressão linear com a correlação dos valores (Figura 2) e a regressão para E_{din} e a densidade aparente das amostras

(Figura 3).

Figura 2. Módulo de elasticidade dinâmico em função do módulo de elasticidade estático para a madeira de castanheira

Figura 3. Módulo de elasticidade dinâmico em função da densidade aparente das amostras de madeira de *Bertholletia excelsa*

4. DISCUSSÃO

Os valores de módulo de elasticidade dinâmico foram maiores que os valores obtidos de forma estática na máquina universal, autores afirmam que essa superestima dos valores de módulo de elasticidade se deve a característica viscoelástica da madeira que ocorre simultaneamente com as de elasticidade durante o ensaio (Targa et al, 2005). Os valores encontrados de E_{din} tiveram média de 17,4 GPa e E_{c0} de 16,5 GPa.

Embora os valores de módulo de elasticidade obtido pela máquina universal sejam diferentes dos valores estimados pelo método ultrassom, observou-se relação entre os mesmos. O coeficiente de determinação teve valor alto ($R^2 = 0,77$) e o erro padrão calculado foi de 0,69. Isso implica que o método não destrutivo ultrassom pode estimar valores de módulo de elasticidade com grau de confiabilidade.

A correlação de Pearson entre o E_{din} e E_{c0} foi alta 0,88 corroborando com outros trabalhos utilizando madeiras diversas que comparam dinâmico e estático (Ribeiro et al., 2013; Melo & Del Menezzi, 2016).

Houve também correlação positiva e mediana ($R^2 = 0,61$) entre a densidade aparente da madeira e o E_{din}.

5. CONCLUSÕES

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- O módulo de elasticidade estimado pelo método não destrutivo ultrassom foi diferente do E_{c0}, no entanto, ambos apresentam forte correlação (P = 0,88).
- Existe correlação positiva (0,61) entre a densidade aparente da madeira e o E_{din}.
- É possível por meio do E_{din} dinâmico estimar valores de E_i para a madeira de *Bertholletia excelsa*.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

7. REFERÊNCIAS

ASTM - American Society for Testing and Materials. D-143: standard test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken, Annual Book of ASTM Standards, 2014.

Ballarin AW, Nogueira M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. Engenharia Agrícola 2005: 19-28.

Biechele T, Chui YH, Gong M. Comparison of NDE techniques for assessing mechanical properties of unjointed and finger-jointed lumber. Holzforschung 2011: 65: 397–401.

Brashaw BK, Bucur V, Divos F, Goncalves R, Lu J, Meder R, et al. Non-destructive testing and evaluation of wood: a worldwide research update. Forest Product Journal 2009: 59: 7–14.

Casado M, Acuña L, Basterra LA, Ramón-Cueto G, Vecilla D. Grading of structural timber of *Populus* × euramericana clone I-214. Holzforschung 2012; 66: 633–638.

Denes L, Iñiguez G, Divos F. Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. Holzforschung 2005; 59: 230–231.

Gomes Ribeiro P, Gonçalez JC, Gonçalves R, Teles RF, de Souza F. Ultrasound waves for assessing the technological properties of *Pinus caribaea* var hondurensis and *Eucalyptus grandis* wood. Maderas. Ciencia y tecnologia 2013; 15(2): 195-204.

Hu Y, Wang F, Gu J, Liu Y, Nakao T. Nondestructive test and prediction of modulus of elasticity of veneer-overlaid particleboard composite. Wood Science and Technology 2005; 39(6): 439.

Lindstrom H, Harris P, Nakada R. Methods for measuring stiffness of young trees Holz Roh Werkst 2002; 60: 165–174.

Melo RR, Del Menezzi CHS. Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com Paricá por meio de ultrassom. Ciência Florestal 2016; 26(1): 263-271.

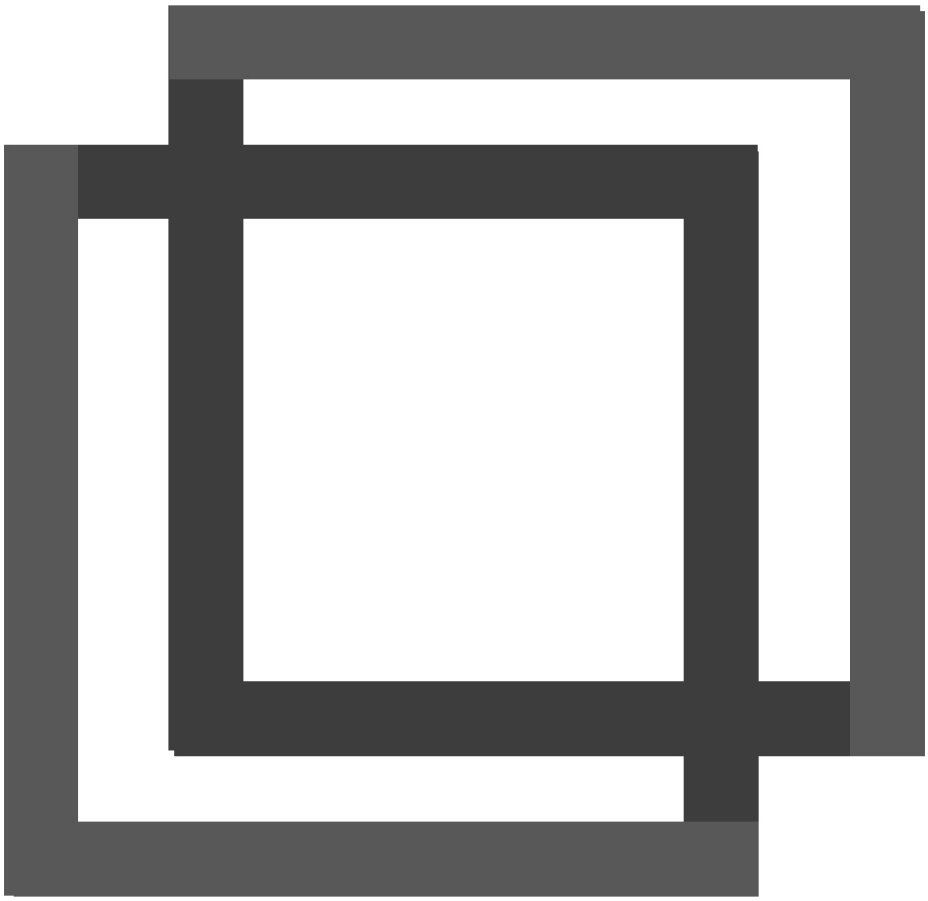
Neto PNM, Paes JB, de Alcântara Segundinho, PG. Determinações dos módulos de elasticidade e ruptura de madeiras por técnicas não destrutivas e destrutiva Evaluation of elasticity and rupture modulus of woods by destructive and non-destructive techniques. Scientia Forestali 2016; 44(111): 683-690.

Pellerin RF, Ross, RJ. Nondestructive evaluation of structural members. U.S. Patent n. 5,024,091, 1991.

Sharp DJ. Nondestructive testing techniques for manufacturing LVL and predicting performance.

In: Proceedings, 5th nondestructive testing of wood symposium; 1985 September 9–11; Pullman, WA. Pullman, WA: Washington State University: 99–108.

Stangerlin DM., Domingues JMX, Santini EJ, Calegari L, Melo RR, Gatto DA, et al. Obtenção do modulo de elasticidade em madeiras de Patagonula americana e Araucaria angustifolia por meio do método ultra-sonoro. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 2008; 11(1): 1-15.

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

Wang, X., Ross, R.J., Carter, P. Acoustic evaluation of wood quality in standing trees. Part I. Acoustic wave behavior. Wood Fiber Science 2007; 39: 28–38.