



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE Eucalyptus sp. POR MÉTODO DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVO

Camila Batista da Silva Lopes¹
Luciano Junqueira Costa¹
Jéssica Dornelas Soares¹
Matheus Fernandes de Carvalho Reis¹
Thaís Pereira Freitas¹
Marcos Oliveira de Paula¹
Clarissa Gusmão Figueiró¹
Lucas de Freitas Fialho¹

¹ Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE *Eucalyptus* sp. POR MÉTODO DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVO

Camila B. Da S. **LOPES**¹; Luciano J. **COSTA**¹; Jéssica D. **SOARES**¹, Matheus F. de C. **REIS**¹; Thaís P. de **FREITAS**¹; Marcos O. De **PAULA**¹, Clarissa G. **FIGUEIRÓ**¹; Lucas F. **FIALHO**¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Resumo: As propriedades mecânicas da madeira são determinadas, na maioria das vezes, por meio de métodos destrutivos. Entretanto, em determinadas situações, esses métodos são inviáveis, pois pode haver desperdício de material, uma vez que os corpos de prova não podem ser reaproveitados. Uma opção nessas situações é a utilização de métodos de ensaio não destrutivos, como o método da vibração transversal. O objetivo desse trabalho foi determinar o módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus grandis* pelo método destrutivo e pelo método não destrutivo de vibração transversal, buscando comparar os resultados obtidos por esses métodos. Foi utilizada madeira de *Eucalyptus grandis* da qual foram retirados corpos de prova conforme as dimensões descritas na norma NBR 7190. O ensaio não destrutivo foi realizado por meio de um protótipo. As vibrações foram captadas na outra extremidade do corpo de prova por um microfone conectado a um computador contendo o software *Fast Fourier Transform Spectrum Analyzer*. O ensaio destrutivo de flexão estática foi procedido em uma máquina de ensaios universal e o ensaio foi feito de acordo com as prescrições da norma NBR 7190. Os módulos de elasticidade encontrados pelos métodos destrutivo e não destrutivo apresentaram uma alta correlação ($R^2 = 0,82$). Verificou-se que o módulo de elasticidade dinâmico foi cerca de 12% maior que o estático. A correlação entre o módulo de elasticidade estático e o dinâmico foi satisfatória, o que indica que há potencial para a utilização do método não destrutivo de vibração transversal para determinação do MOE da madeira.

Palavras-chave: vibração transversal, teste não destrutivo, ensaio mecânico

DETERMINATION OF *Eucalyptus* sp. MODULUS OF ELASTICITY BY DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS

Abstract: The mechanical properties of wood are mostly determined by destructive methods. However, in some situations these methods are impracticable because wood samples can not be reused. One option in such situations is the use of non-destructive test methods, such as the transverse vibration method. The objective of this study was to determine the modulus of elasticity of *Eucalyptus grandis* by a destructive method and a non-destructive method, in order to compare the results obtained by the two methods. The *Eucalyptus grandis* wood samples were obtained according to dimensions described in the NBR 7190. The non-destructive test was performed using a prototype. The vibrations were captured at one end of the wood sample by a microphone connected to a computer containing the Fast Fourier Transform Spectrum Analyzer software. The destructive static bending test was performed in a universal test machine, according to the requirements of the standard NBR 7190. The modulus of elasticity found by destructive and non-destructive methods showed a good correlation ($R^2 = 0.82$). It was verified that the dynamic modulus of elasticity was about 12% greater than the static one. The correlation between the static and dynamic modulus of elasticity was satisfactory, which allows the use of the transverse vibration method to determine the wood modulus of elasticity.

Keywords: transverse vibration, non-destructive testing, mechanical testing

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas da madeira são determinadas, na maioria das vezes, por meio de métodos destrutivos. Entretanto, em determinadas situações é inviável a confecção de corpos de prova, devido a características intrínsecas da madeira, pouca quantidade de material disponível e dificuldade de reaproveitamento da amostra para outros ensaios mecânicos. Uma opção nessas situações é a utilização de métodos de ensaio não destrutivos, que permitem a avaliação das propriedades mecânicas sem a necessidade de extração de corpos de prova, além de possibilitar a reutilização dos mesmos (MIYAMOTO et al., 2017).

A avaliação não destrutiva é definida como sendo técnicas que visam a caracterização de materiais, por meio de princípios físicos definidos, sem que ocorra alteração de suas características físicas, químicas, mecânicas, dimensionais e a capacidades de uso final (PAULA et al., 2016). As técnicas de avaliação não destrutiva, de modo geral, permitem a caracterização rápida, simples e confiável das propriedades da madeira, além de apresentar baixo custo de análise (ALMEIDA et al., 2016).

Um método não destrutivo que apresenta bom potencial para estimativa das propriedades mecânicas da madeira é o da vibração transversal (*transverse vibration technique* ou *resonance technique*). Essa técnica consiste na análise da vibração de um exemplar de madeira, com obtenção do módulo de elasticidade do material a partir da análise das frequências principais de vibração, por meio da relação existente entre a rigidez e a frequência natural de vibração (TARGA et al., 2005).

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de prever propriedades da madeira por meio da técnica de vibração transversal. O método de ensaio por vibração transversal é considerado atualmente um teste que apresenta alta confiabilidade na predição das propriedades mecânicas da madeira. Essa técnica é considerada de grande relevância na determinação do módulo de elasticidade da madeira, já que é capaz de apresentar respostas rápidas e correlações lineares elevadas (em média, ordem de R^2 igual a 0,8), além do custo do ensaio ser relativamente baixo (SEGUNDINHO et al., 2012; TARGA et al., 2005).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi determinar o módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus grandis* pelo método destrutivo e pelo método não destrutivo de vibração transversal, buscando comparar os resultados obtidos por esses métodos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), da Universidade Federal de Viçosa, MG. Foi utilizada madeira de *Eucalyptus grandis*, com idade de 33 anos, coletado em Viçosa, MG, da qual foram retirados corpos de prova, com seção quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento, na direção paralela às fibras, de 115,0 cm, conforme preconiza a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os corpos de prova foram climatizados em sala de climatização até atingirem umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

O ensaio não destrutivo foi realizado por meio de um protótipo. Os corpos de prova foram colocados sobre um suporte elástico, considerando a direção longitudinal da madeira, sendo a vibração produzida por meio de um impacto mecânico, com a batida de um martelo em uma extremidade. As vibrações foram captadas na outra extremidade por um microfone conectado a um computador contendo o *software Fast Fourier Transform Spectrum Analyzer* para fornecer o módulo de elasticidade dinâmico da madeira.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

O ensaio destrutivo de flexão estática para a determinação do módulo de elasticidade foi procedido em uma máquina de ensaios mecânicos da marca Mohr Federhaff Losenhausen, O corpo de prova foi biapoado com carga concentrada na parte central, e a velocidade de carregamento constante foi de 10 MPa/min. Este ensaio foi feito de acordo com as prescrições da norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os resultados obtidos nos ensaios foram submetidos à análise estatística descritiva, consistindo nas médias, máximos e mínimos, além de desvios padrões e coeficientes de variação. Também realizou-se análise de regressão, com índice de confiança de 95%, para analisar a existência de correlação entre os módulos de elasticidade obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, resumem-se os valores do módulo de elasticidade à flexão da madeira, obtidos a partir de ensaios destrutivos convencionais e os valores obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico, com uso da técnica da vibração transversal.

Tabela 1. Valores obtidos para o módulo de elasticidade (MOE)

Módulo de elasticidade (MOE)	Métodos	
	Estático	Dinâmico
Valor mínimo (GPa)	13,33	15,48
Valor máximo (GPa)	17,84	19,26
Média (GPa)	15,61	17,25
Desvio-padrão	1,59	1,28
Coeficiente de variação (%)	10,22	7,41

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade estático da madeira estudada condizem com aqueles apresentados na NBR 7190 (ABNT, 1997) para o gênero *Eucalyptus*, que vão de 12,81 a 19,88 GPa. Da análise conjunta dos métodos destrutivo e não destrutivo, nota-se que os coeficientes de variação encontrados ficaram dentro dos limites aceitáveis para ensaios mecânicos (C.V. $\leq 20\%$) e revelaram, ainda, grande proximidade entre os valores nos dois tipos de ensaios realizados (TARGA et al., 2005).

A figura 1 ilustra a correlação obtida entre os módulos de elasticidade estático (MOE_e) e dinâmico (MOE_d).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

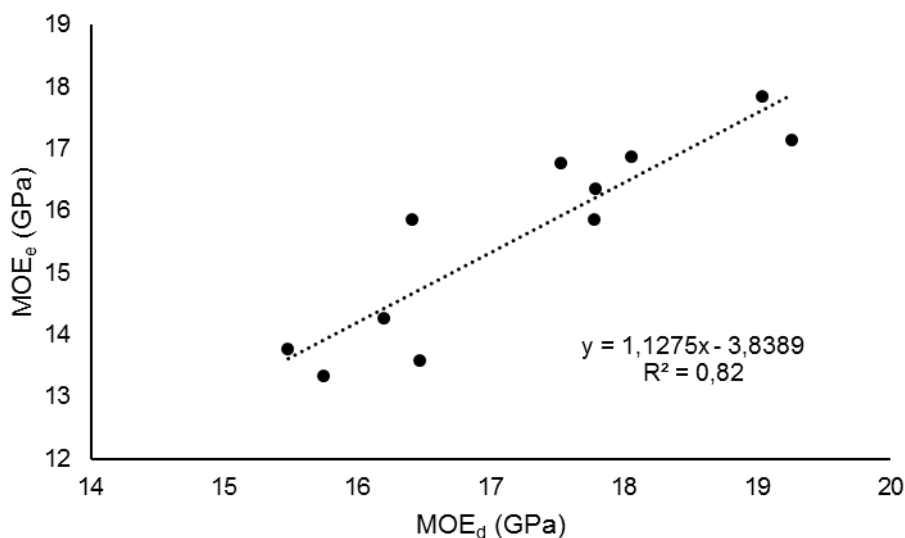


Figura 1. Modelo de regressão para os módulos de elasticidade dinâmico (MOE_d) e estático (MOE_e)

Os módulos de elasticidade encontrados pelos métodos destrutivo e não-destrutivo apresentaram uma boa correlação ($R^2 = 0,82$). A correlação entre o módulo de elasticidade estático e o dinâmico é satisfatória, o que possibilita a utilização do método de vibração transversal para determinação do MOE da madeira, assim como foi encontrado por Burdzik e Nkwera (2002).

Verifica-se que o módulo de elasticidade dinâmico foi cerca de 10,5% maior que o estático, conforme observado por Targa et al. (2005) para as espécies de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*.

4. CONCLUSÕES

O coeficiente de determinação da equação de regressão entre os módulos de elasticidade dinâmicos e estáticos foi de 82% para a madeira de *Eucalyptus grandis*. Essa correlação pode ser considerada significativa.

Deve-se levar em consideração que em um ambiente fabril o método pode não ser eficiente visto que 18% de um lote é imprevisível de ser analisado.

O método é rápido, não destrutivo e não requer equipamentos pesados.

O método da vibração transversal pode ser considerando um método eficiente para a determinação não destrutiva do módulo de elasticidade da madeira.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a Fapemig e a Capes pelo apoio financeiro, ao LAPEM (Laboratório de Painéis e Energia da Madeira), a Universidade Federal de Viçosa pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. H.; FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; TAKESHITA, S.; MODES, K. S.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Determinação da rigidez de *Pinus elliottii* em diferentes teores de umidade por meio de ensaios mecânicos não destrutivos. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 110, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BURDZIK, W. M. G; NKWERA, P. D. Transverse vibration tests for prediction of stiffness and strength properties of full size *Eucalyptus grandis*. *Forest Products Journal*, v. 52, n. 6, p. 63, 2002.

MIYAMOTO, B.; OLSZKO, E.; SINHA, A.; MORRELL, J. J. Use of acoustic testing to detect decay and sort western juniper for modulus of elasticity and modulus of rupture. *Wood Material Science & Engineering*, p. 1-7, 2017.

PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* willd). *Biodiversidade*, Cuiabá, v. 15, n. 2, p.136-148, 2016.

SEGUNDINHO, P. G.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; CALIL JUNIOR, C. Analysis of the natural vibration frequency test method to obtain the modulus of elasticity of wood structural components. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1155-1161, 2012.

TARGA, L. A.; BALLARIN, A. W.; BUAGGIONI, M. A. M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 291-299, 2005.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

