



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE *Dipteryx odorata* OBTIDO PELOS MÉTODOS VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS E ACÚSTICO

Taiane Oliveira Guedes¹

José Reinaldo Moreira da Silva²

Rodrigo Allan Pereira³

Anna Carolina de Almeida Andrade⁴

Fernanda Maria Guedes Ramalho²

Mônica Bezerra de Oliveira¹

Lidiane Costa Lima⁵

¹ Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

² Universidade Federal de Lavras

³ Departamento de Engenharia / Universidade Federal de Lavras

⁴ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais - Ciência e Tecnologia da Madeira

⁵ Universidade Federal de Lavras / Departamento de Ciências Florestais



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE *Dipteryx odorata* OBTIDO PELOS MÉTODOS VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS E ACÚSTICO

Resumo: Técnicas que possam caracterizar a madeira de forma correta e eficiente são cada vez mais demandadas. Os métodos não destrutivos permitem avaliar as propriedades do material sem modificar sua estrutura, sendo possível caracterizar o material em serviço. A técnica de Velocimetria por Imagens de Partículas (PIV) permite acompanhar deformações do material por imagens e extrair informações quantitativas e qualitativas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a técnica PIV, confrontando seus resultados com o Sonelastic, também não destrutivo, e o método convencional. Neste experimento foi utilizada a madeira de *Dipteryx odorata* (Cumaru) para ensaios de flexão. Os corpos de prova foram ensaiados utilizando o equipamento Sonelastic, que obteve os valores de módulo de elasticidade (MOE), técnica PIV e ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaios. Os valores de MOE obtidos pelas três técnicas foram correlacionados por análise gráfica e correlação de Pearson. Constatou-se que ambos os métodos não destrutivos possuem correlação positiva com os valores identificados obtidos pelo método tradicional. A técnica PIV ainda pouco explorada para sólidos se mostrou eficiente para obtenção de MOE.

Palavras-chave: NDT. Sonelastic. PIV.

ELASTICITY MODULUS OF THE WOOD OF *Dipteryx odorata* OBTAINED BY THE METHODS PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY AND ACOUSTIC

Abstract: Techniques that characterise a wood correctly and effectively are increasingly in demand. The nondestructive methods can be considered as properties of the material without modifying its structure, is possible to characterise the material in service. The Particle Image Velocimetry Technique allows to accompany deformations of the material and for images extract to quantitative and qualitative information. The aim of this work was to evaluate the PIV technique, comparing its results with the nondestructive Sonelastic, and the conventional method. This test was used in the wood of *Dipteryx odorata* (Cumaru) for flexural tests. The test specimens are tested using the equipment Sonelastic, which obtained the MOE values, the PIV technique and the static bending test in a universal testing machine. The MOE values obtained the three correlation techniques by graphical analysis and Pearson correlation. It was found that both nondestructive methods have a positive correlation with values identified by the traditional method. The still little explored PIV technique for solids was efficient for obtaining MOE.

Keywords: NDT. Sonelastic. PIV.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos não destrutivos (*NDT – nondestructive testing*) avaliam características do material sem alterar sua capacidade de uso final. Esses métodos surgiram da necessidade da indústria de caracterizar material em uso, principalmente aqueles estruturais. Devido a eficiência das análises e também as possibilidades de pesquisas, se estendeu para as demais áreas de uso (GALLIGAN et al 1965; SHARP 1985).

Os métodos não destrutivos podem caracterizar a madeira em todas suas propriedades. Os ensaios mecânicos de resistência são de grande importância, uma vez que, interferem na qualidade dos produtos provenientes da madeira. A caracterização mecânica convencional, utiliza a máquina universal de ensaios e exige

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

grandes lotes de amostras e tempo maior para ensaiar. Os NDT são alternativas interessantes para otimizar tais ensaios (PELLERIN et al. 1991).

Dentre os métodos de caracterização de material de forma não destrutivas, temos os equipamentos de análise de vibração transversal, em que a frequência natural em que vibra o material é relacionada com a rigidez. O Sonelastic é um equipamento que utiliza o princípio de excitação por impulso. O corpo de prova sofre impacto de curta duração, cujas frequências naturais da vibração, resposta acústica. As frequências de vibração de cada material analisado são relacionadas com o módulo de elasticidade. Essa vibração ocorre de forma longitudinalmente, na direção do movimento da onda sonora (ATCP ENGENHARIA FÍSICA, 2014).

Para cada material, existem técnicas mais apropriadas, no entanto, algumas delas podem ser adaptadas para matérias distintos em busca de caracterizações adequadas. É o caso da técnica de Velocimetria de Imagens por Partículas inicialmente criada para o campo de estudos de gases (ADRIAN, 1991). O PIV é uma técnica não destrutiva de análise de imagens que faz uma correlação entre o deslocamento de pontos em imagens sucessivas. A técnica recentemente mostrou-se promissora para estudos em sólidos.

Souza et. al. (2014) utilizaram a técnica PIV para criar mapas de deformação sob carga sem contato em madeira. O estudo utilizou o *Sunset Laser* para ressaltar as irregularidades da superfície a serem monitoradas durante ensaio mecânico na máquina universal. Assim, os resultados obtidos foram satisfatórios para obter a deformação na região elástica. Os mapas de deformação gerados contribuíram para caracterizar a madeira e determinar as propriedades mecânicas.

Este trabalho utiliza a técnica PIV e o equipamento acústico Sonelastic para obter o módulo de elasticidade da madeira de *Dipteryx odorata*, a fim de analisar como as técnicas se relacionam e confrontá-las com o método convencional da máquina de ensaio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada madeira de *Dipteryx odorata* (Cumaru vermelho), coletada aleatoriamente no mercado local de Lavras/MG, não tendo controle da idade, umidade e de sua procedência. As peças de madeira foram processadas e confeccionou-se corpos de prova para ensaio de flexão, com dimensões de 25 x 25 x 410 mm (ASTM, 2007), os quais foram transportados para a câmara de climatização [$T = 20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60 \pm 5\%$], onde estabeleceu a umidade de 12%.

Para realização dos ensaios e determinação dos módulos de elasticidade segundo os diferentes métodos, os corpos de prova foram marcados, aleatoriamente, com partículas em sua face tangencial (Figura 1), a massa e as dimensões dos mesmos foram obtidas.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017



Figura 1. Corpos de prova marcados com partículas feitas de forma aleatória

2.1 Eflex (GPa) Sonelastic®

Para realização da análise os dados de massa e dimensões dos corpos de prova foram inseridos no software do Sonelastic. Os corpos de prova foram ensaiados com modo de vibração flexional obtendo assim a relação do módulo dinâmico de elasticidade (Figura 2).

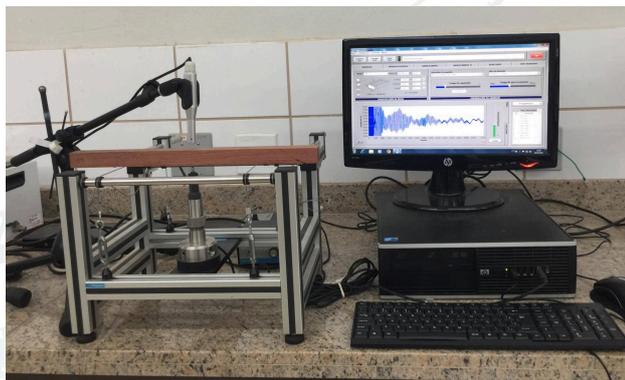


Figura 2. Setup da análise utilizando o equipamento Sonelastic

2.2 Máquina universal de ensaio, relógio comparador e velocimetria de partículas por imagens (PIV)

Os corpos de prova utilizados para determinação do módulo de elasticidade dinâmico no Sonelastic foram encaminhados para ensaio na máquina universal e determinação dos módulos de elasticidade por meio do teste destrutivo e por meio do PIV.

Os ensaios foram realizados concomitantemente na máquina universal, segundo a norma ASTM D143 (ASTM, 1994). Foi posicionada uma câmera fotográfica em frente à máquina universal de ensaios de forma a captar todo o ensaio, acompanhando o deslocamento do corpo de prova. A câmera foi acionada por controle remoto de maneira a prevenir que houvesse alguma movimentação em sua posição inicial durante o ensaio. Também foi utilizado um relógio comparador para monitorar o deslocamento. Foi tirada uma foto antes do ensaio para ser a imagem de referência. Após o início do ensaio de flexão o tempo foi monitorado e fotos a cada 30 s foram tiradas até o fim de cada ensaio. Assim para cada corpo de prova foi registrada uma

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

sequência de imagens com a deformação da madeira (Figura 3) e a movimentação das partículas gravadas na mesma.

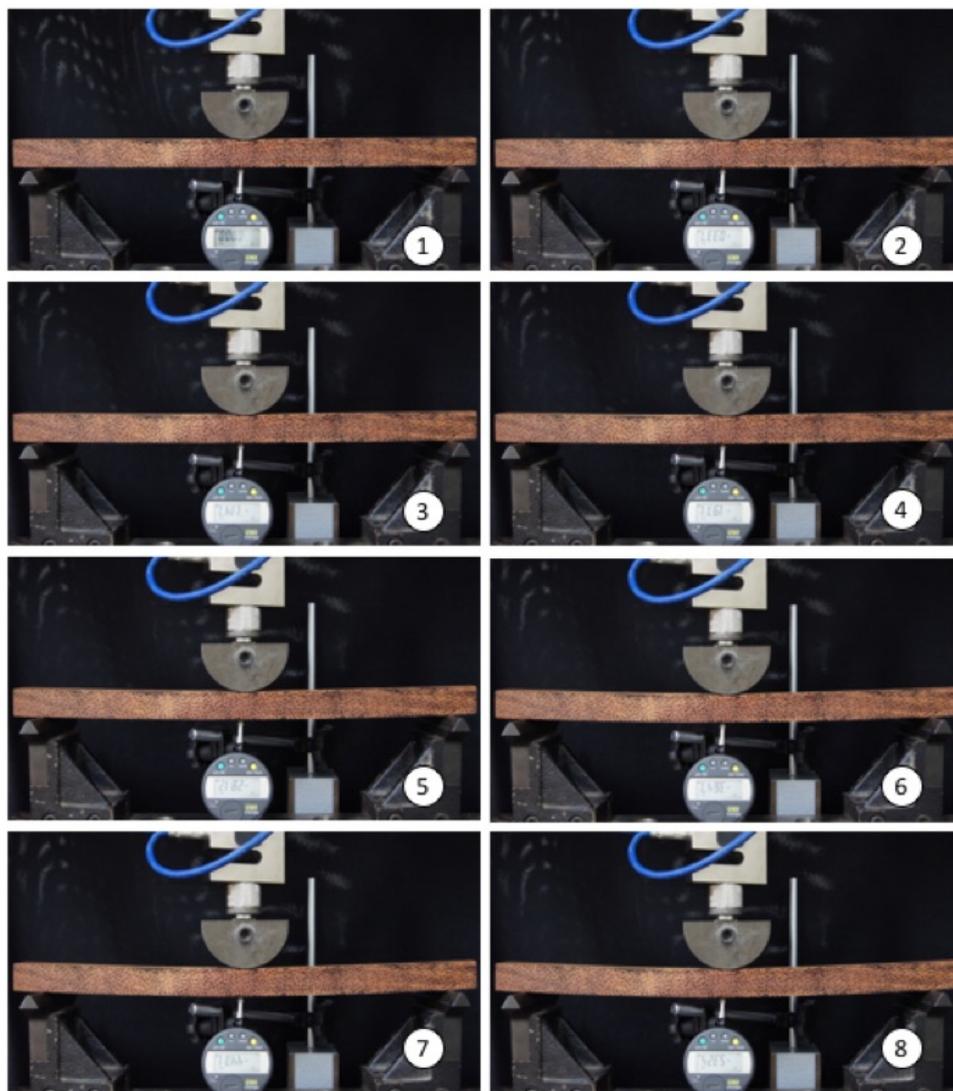


Figura 3: Corpo de prova monitorado por fotografias no intervalo de 30 s durante ensaio de flexão em máquina universal de ensaios

Ao final dos ensaios, as imagens foram organizadas e preparadas pelo software *Image j* para as configurações necessárias (extensão RGB e escala). As imagens são processadas pelo algoritmo Software *GNU Octave* para que este faça o estudo da movimentação de cada partícula. Com o algoritmo do PIV é possível obter a deformação durante a flexão e calcular o módulo de elasticidade para os corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 exhibe os valores de MOE obtidos de forma direta pelos métodos acústico (Sonelastic) e máquina universal, bem como, os valores de MOE calculados a

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

partir da deformação encontrada pelo relógio comparador e pela velocimetria por imagens de partículas.

Tabela 1. Módulo de elasticidade da madeira de *Dipterix odorata* para cada método utilizado

Método	MOE (GPa)
Sonelastic	18,85
Máquina universal	22,22
Relógio comparador	23,04
PIV	23,98
Desvio padrão	2,23

Os valores obtidos de MOE nas diferentes técnicas tiveram desvio padrão baixo indicando que se encontram dentro da margem de confiança da média. Tomando como referência o valor obtido em literatura o MOE da espécie *Dipterix odorata* é de 18,55 GPa (IPT, 2013) os valores encontrados são conexos. Observa-se que o método acústico Sonelastic foi o mais próximo, e os outros métodos subestimaram ligeiramente o valor. A técnica PIV acompanhou bem a deformação sendo um método bastante interessante para análises qualitativas e quantitativas.

A partir dos dados de deformação (mm/s) do PIV e relógio comparador chegou-se aos valores de módulo de elasticidade. Os valores de deformação (mm/s) obtidos pela técnica PIV e pelo relógio comparador foram bastante similares, então os dados das duas análises foram confrontados para verificar sua competência. Na Figura 4 seguem plotados os valores de deformação. Os valores apresentaram correlação de Pearson de 0,99, ou seja, positiva e forte, o que indica que os dados obtidos pela análise de imagens, durante o ensaio, acompanharam a sensibilidade do relógio comparador. Isso atesta que o algoritmo de processamento das imagens consegue identificar a movimentação de forma confiável.

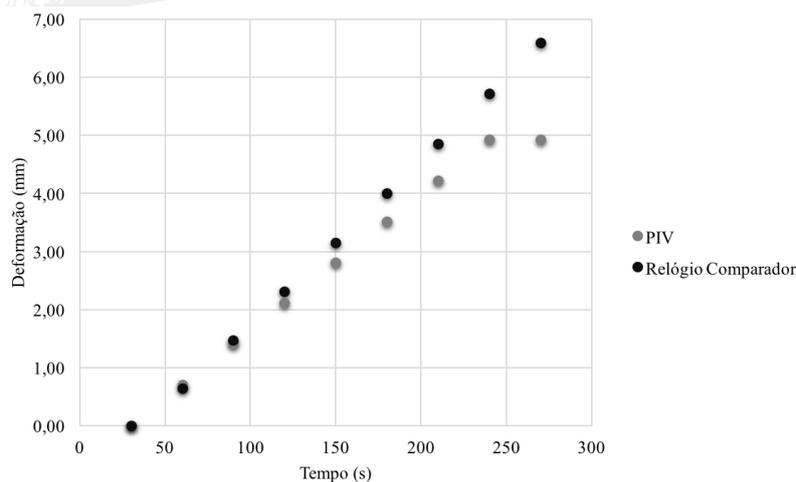


Figura 4. Gráfico de deformação dos corpos de prova durante ensaio na máquina universal com valores obtidos pela análise de imagens e pelo relógio comparador

Magalhães, Braga Jr. e Barbosa (2015), utilizando a técnica PIV em ensaios de compressão, também conseguiram acompanhar a deformação em vigas e obter o módulo de elasticidade. Os autores indicaram erro de 5% em relação aos valores encontrados pelo método convencional de caracterização mecânica, o que foi tido



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

como satisfatório.

4. CONCLUSÃO

As técnicas não destrutivas PIV e Sonelastic apresentaram o módulo de elasticidade da madeira de forma correta. A técnica PIV acompanhou a deformação que ocorreu durante o ensaio de flexão podendo a partir disso calcular o MOE e também fazer análises qualitativas do material ensaiado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig, ao CNPq e à Capes pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ADRIAN, Ronald J. **Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics**. *Annual review of fluid mechanics*, v. 23, n. 1, p. 261-304, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1876-07: ASTM Standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio by Impulse Excitation of Vibration**. United States, 2007.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D143: Standard methods of testing small clear specimens of timber**. Philadelphia, PA, 1995.

ATCP ENGENHARIA FÍSICA, **Manual de instalação e operação Software Sonelastic versão 2.8**. Ribeirão Preto –SP. 2014

GALLIGAN, W.L.; Courteau, R.W. 1965. **Measurement of elasticity of lumber with longitudinal stress waves and the piezo-electric effect of wood**. In: Proceedings, 2d nondestructive testing of wood symposium; 1965 April; Pullman, WA. Pullman, WA: Washington State University: 223–244.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. Coordenação Augusto Rabelo Nahuz. São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.

MAGALHAES, R. R.; BRAGA, R. A.; BARBOSA, B. H. G. Young' s Modulus evaluation using Particle Image Velocimetry and Finite Element Inverse Analysis. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 70, p. 33-37, 2015.

PELLERIN, Roy F.; ROSS, Robert J. **Nondestructive evaluation of structural members**. U.S. Patent n. 5,024,091, 18 jun. 1991.

SHARP, D.J. 1985. **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

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

SOUZA, Tomé M. et al. **Non-destructive technology associating PIV and Sunset laser to create wood deformation maps and predict failure.** Biosystems Engineering, v. 126, p. 109-116, 2014.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

