

Utilização da técnica de velocimetria por imagens de partículas (PIV) para o estudo de elasticidade de madeira de *Pinus Oocarpa*

Eduardo Hélio de Novais Miranda¹, Rodrigo Allan Pereira², Francisco Carlos Gomes³,
Roberto Alves Braga Junior⁴, Fernando Pujaico Rivera⁵

¹ Graduando em Eng. Civil, Universidade Federal de Lavras, UFLA/Lavras-MG, (35)38512888, eduardo.miranda@engenharia.ufla.br

² Doutor, Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 2142-2010, rodrigo.apereira@deg.ufla.br

³ Doutor, Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829-1484, fcgomes@deg.ufla.br

⁴ Doutor, Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829-1672, robbraga@deg.ufla.br

⁵ Pós doutorando, Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829.1481, fernando.pujaico.rivera@gmail.com

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Várias são as metodologias e técnicas de ensaio capazes de caracterizar os materiais. No entanto, a maioria destas técnicas apresentam problemas como o custo dos equipamentos e dos ensaios. Neste contexto, surgem alternativas quanto a estes problemas, dentre as quais estão as técnicas não destrutivas de ensaio, destacando-se a técnica de velocimetria por imagens de partículas (PIV). O objetivo deste estudo é avaliar a técnica PIV como ferramenta para caracterização de madeira de *Pinus Oocarpa* a partir do seu módulo de elasticidade. Foram submetidos a ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaios, 23 corpos de prova de *Pinus Oocarpa* e para análise das deformações ocorridas aplicou-se a técnica PIV e também utilizou-se para fins de comparação três relógios comparadores. Os valores médios de módulo de elasticidade encontrados para madeira de *Pinus Oocarpa* foram de 6.418,8 MPa pela técnica PIV e 6.171,6 MPa pelos valores oriundos do relógio comparador. Com a aplicação de teste “t de student” com nível de significância de 1%, verificou-se que as médias são iguais estatisticamente. Concluiu-se que a técnica PIV foi capaz de fornecer os valores de módulo de elasticidade com a mesma precisão dos métodos convencionalmente utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo de elasticidade, Flexão Estática, Técnica não destrutiva.

ABSTRACT: There are several methodologies and test techniques capable of characterizing the materials. However, most of these techniques exhibit problems such as cost of equipment and testing. In this context, they emerge alternatives to these problems, among which are non-destructive test techniques, especially the particle image velocimetry (PIV) technique. The objective of this study is to evaluate the PIV technique how a tool for the characterization of *Pinus Oocarpa* wood as of its elastic modulus. Twenty-three test species of *Pinus Oocarpa* were submitted to a static flexion test in a universal testing machine, and for the analysis of deformations occurred the PIV technique was applied and three comparator watches were also used for comparison purposes. The mean values of modulus of elasticity found for *Pinus Oocarpa* wood were 6,418.8 MPa by the PIV technique and 6,171.6 MPa by the values from the comparator watch. With the application of "t student" test with significance level of 1%, it was verified that the averages are statistically equal. It was concluded that the PIV technique was able to provide modulus of elasticity values with the same precision of the conventionally used methods.

KEYWORDS: Elastic modulus, Static flexion, Non-destructive techniques.

INTRODUÇÃO: A madeira é um material produzido a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de sustentação mecânica. Como se apresenta ser um material de alta resistência e relativamente leve é comumente utilizado na construção (Paiva, 2012). Uma das formas mais comuns de medir a elasticidade de materiais sólidos, como a madeira é o módulo de Young, que é um parâmetro que mede a rigidez de um sólido.

Entretanto, as técnicas convencionais de análise utilizadas atualmente, demandam alto tempo de processamento e necessitam de equipamentos específicos além de grande número de amostras.

Nesse contexto, as técnicas não destrutivas de ensaio (END's) são opções para caracterização dos materiais, pois não causam danos permanentes aos corpos de prova, nem demandam materiais de alto custo para serem implementados. Os END's mais usados atualmente são, dentre outros, o ultrassom, a radiografia, a análise de vibrações, micro-ondas, emissão acústica e técnicas óticas, destacando-se neste contexto, a Velocimetria por Imagens de Partículas (PIV) (PEREIRA, 2017).

A técnica PIV mede campos de velocidades instantâneas e funciona quando um feixe de laser posicionado perpendicularmente ao escoamento ilumina uma região de interesse. Nos materiais sólidos é utilizada através de uma captura de imagens em intervalos de tempo pré-definidos durante uma fase de carregamento. Estas imagens são processadas em um algoritmo computacional que calcula os deslocamentos ocorridos na superfície do objeto estudado.

Objetivou-se com este estudo a aplicação da técnica PIV para obtenção do módulo de elasticidade de madeira de *Pinus Oocarpa*.

MATERIAL E MÉTODOS: Para a realização da pesquisa, foram utilizados 23 corpos de prova de madeira de *Pinus Oocarpa*, confeccionados na Unidade Experimental em Painéis de Madeira (UEPAM), no Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Os corpos de prova foram providos através de plantio florestal direto no campus da UFLA. Os mesmos foram serrados com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm utilizando-se uma serra circular esquadrejadeira, de acordo com a ASTM D143-94 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 1994).

Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de flexão estática, em uma Máquina Universal de Ensaio, localizada no Laboratório de Resistência de Materiais e Mecânica de Estruturas do Departamento de Engenharia da UFLA; com capacidade de carga de 30 toneladas-força.

Utilizou-se a técnica PIV para medição da deformação ocorrida nos corpos de prova durante os ensaios de flexão estática. Com base na norma ASTM D143-94, com os valores de deformação, carga aplicada, distância entre apoios e características geométricas da seção transversal foi possível a obtenção do módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados.

Figura 1: Vista geral da Máquina Universal de Ensaio e a instrumentação do ensaio de flexão estática para a aplicação da técnica PIV.



Para a execução da técnica PIV, os corpos de prova foram marcados com caneta tipo ponta finos, sendo os pontos de marcação distribuídos aleatoriamente por toda a superfície. Para fins de comparação, foram adicionados três relógios comparadores para encontrar os valores de deslocamento da madeira em diferentes corpos de prova.

A aplicação da técnica PIV consiste em capturar imagens consecutivas durante a sessão de carregamento. Para obtenção das imagens foi utilizada uma câmera profissional (CANON EOS Rebel T3), alocada perpendicularmente à superfície da amostra (25 cm de distância), sendo essas imagens feitas em intervalos de 30 segundos, após o acionamento da Máquina Universal de Ensaio.

Após a captura, as imagens foram processadas para redução de seu tamanho de armazenamento, isto auxilia para que o tempo de processamento das imagens no algoritmo PIV, no software livre GNU Octave, seja reduzido.

Desse modo, foram plotados dois gráficos “Carga x Deformação” para cada corpo de prova, um deles obtido pela técnica PIV e o outro pelas deformações do relógio comparador, possibilitando assim a determinação do módulo de elasticidade pela técnica PIV e pelos valores encontrados no relógio comparador.

Aplicou-se uma análise estatística por meio do teste “t de Student” com 99% de confiança para comparação das médias dos módulos de elasticidade obtidos pela técnica PIV e pelo relógio comparador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos ensaios de flexão estática, foram obtidos dois conjuntos de informações, um empregando a técnica PIV e outro pelo relógio comparador. Por estes conjuntos, pode ser criado um gráfico de “Força x Deslocamento” a fim de calcular o módulo de elasticidade pelos dois métodos.

Tabela 1 : Comparação estatística dos módulos de elasticidade obtidos pelo método convencional e pela técnica PIV.

Material	Ensaio	Método	Módulo de Elasticidade			Ho = μPIV μRC
			Tcal 0,005,n-1	T cal 0,005,n-1	Médio (Mpa)	
<i>Pinus</i>	Flexão	RC	6.171,60	-0,4338	-2,8187	Aceita
<i>Oocarpa</i>	estática	PIV	6.418,80			

A partir da comparação estatística (Tabela 1), os Módulos de elasticidade médios calculados pelos dois métodos foram iguais, segundo o teste “t de *Student*” com 1% de confiança para comparação das médias. Esse resultado indica a precisão e confiabilidade da técnica PIV frente a um método convencionalmente utilizado.

Outros autores já utilizaram técnicas não destrutivas para obtenção do módulo de elasticidade, como Targa et al.(2005), que usou o método de vibração transversal e Ballarin et al. (2005), que aplicou o método de ultra-som.

Outras pesquisas obtiveram resultado semelhante aos mostrados acima. Iwakiri et al. (2002) por exemplo, encontraram valores de 6008,75 MPa para o módulo de elasticidade de *Pinus Oocarpa*; Gutemberg et al. (2013), entretanto, obtiveram 5975,48 MPa para esse parâmetro mecânico dessa espécie de madeira e Cossolino et al. (2012), 6220,25 MPa.

CONCLUSÕES: Os resultados desta pesquisa permitem concluir que os valores de módulo de elasticidade obtidos pelas duas técnicas, PIV e relógio comparador são estatisticamente iguais. Os valores médios de módulo de elasticidade encontrados com a aplicação do método convencional e pela técnica PIV, respectivamente, foram para o *Pinus oocarpa* de 6.171,6 e 6.418,8 MPa. A técnica PIV demonstrou ser capaz de caracterizar o material presente neste estudo com precisão. Dessa forma pode ser utilizada na caracterização de várias propriedades mecânicas de diversos outros materiais sólidos, o que demonstra que seu uso não pode ser restrito somente aos materiais fluidos.

REFERÊNCIAS:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber- ASTM D143-94 ,1994

Ballarin, W.A. et al. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda por ultra-som.** Jaboticabal, 2005.

Cossolino, L.C. **Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira.** Viçosa, 2012.

Gutemberg, A.C. **Avaliação do módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada (MLC) obtido por meio do ensaio de vibração transversal.** Porto Alegre, 2013.

Iwakiri, S. **Produção de compensado Pinus oocarpa Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído,** Viçosa, 2002.

JC Paiva. **Madeiras.** Disponível em

<<http://ww1.jcpaiva.net/files/ensino/alunos/20022003/teses/020370017/madeiras/madeiras.htm>> Consultado em 18 de maio de 2017.

PEREIRA, R. A. **Velocimetria por imagens de partículas aplicadas ao estudo de deformações em madeira serrada e painéis de madeira.** Tese (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017

Targa, L.A. et al. **Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal,** Jaboticabal, 2005.