

I SEMINÁRIO ONLINE:

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

## VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS PARA OBTENÇÃO DO MAPA DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA SERRADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda<sup>1</sup>, Diogo Antonio Correa Gomes<sup>1</sup>, Thaiane Oliveira Marcelino<sup>1</sup>, Rodrigo Allan Pereira<sup>1</sup>, Taiane Oliveira Guedes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UFLA – Universidade Federal de Lavras. E-mail: [eduardohelio013@gmail.com](mailto:eduardohelio013@gmail.com)

**Resumo:** Diversas metodologias convencionais são capazes de caracterizar os materiais, no entanto, a maioria destas técnicas apresenta problemas como o custo. A técnica de Velocimetria por Imagens de Partículas (PIV) é uma alternativa a esses métodos e funciona através da medição de variações de posição em objetos a partir de imagens capturadas durante uma sessão de carregamento. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi a análise dos deslocamentos ocorridos na superfície de painéis de *Pinus oocarpa* através da construção de mapas de deformações pela técnica PIV. Para tanto, foram confeccionados e submetidos à flexão estática de três pontos em uma máquina universal de ensaios, 25 corpos de prova nas dimensões 2,5x2,5x41 cm. A captura de imagens para a técnica PIV ocorreu em intervalos de 30 segundos durante o teste mecânico; tais imagens foram processadas em um algoritmo onde foi possível a confecção dos mapas de deformações. Para fins de comparação, posicionou-se um relógio comparador, um aparelho convencionalmente utilizado, no centro das amostras. Os mapas de deformações resultantes apresentaram, qualitativamente, menores valores de deformação próximo aos apoios do ensaio e grandes deslocamentos nas superfícies próximas a aplicação da carga. Além disso, os valores de deformações obtidos pela técnica PIV obtiveram, a partir de regressão linear, um coeficiente de determinação de 87,28 % com relação aos dados do relógio comparador. Concluiu-se, portanto, que a técnica PIV foi capaz de demonstrar com precisão os deslocamentos ocorridos na superfície de amostras de *Pinus oocarpa* e apresenta potencial para caracterização de diversos outros materiais sólidos.

Palavras-chave: Deslocamentos, Flexão Estática, Técnica não Destrutiva.

### INTRODUÇÃO

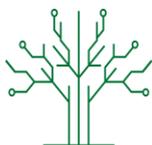
A utilização e criação de diferentes tipos de materiais na construção civil têm crescido nos últimos anos. A demanda por materiais com diferentes propriedades físicas e mecânicas aumenta a necessidade de melhor avaliação e conhecimento de suas características. (PAIVA, 2012).

As técnicas convencionais de ensaio utilizadas atualmente para análise das propriedades mecânicas dos materiais, entretanto, na maioria das vezes, demandam alto tempo de processamento, necessitam de equipamentos específicos, grande número de amostras, e causam danos permanentes ao material ensaiado.

As técnicas não destrutivas de ensaio (END's) são uma alternativa frente a necessidade de caracterizar os materiais que serão utilizados em uma estrutura, pois

Realização:





## I SEMINÁRIO ONLINE:

### TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

não causam danos permanentes aos corpos de prova, nem demandam materiais de alto custo para serem implementados. (PEREIRA, 2017).

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 dentre esses métodos, a Velocimetria por Imagens de Partículas (PIV) (PEREIRA, 2017).

A técnica PIV foi desenvolvida para o campo de materiais fluidos e gases inicialmente, mas, alguns autores já estudaram a aplicação deste método em corpos sólidos, para verificação de deformações e obtenção de propriedades, tais como, Braga Júnior *et al.* (2015), Souza *et al.* (2014) e Pereira (2017).

A técnica PIV nos materiais sólidos é utilizada através da captura de imagens em intervalos de tempo pré-definidos durante uma fase de carregamento em um ensaio de flexão estática. Após capturadas, as imagens são processadas em um algoritmo que calcula os deslocamentos ocorridos na superfície do material.

A partir dos deslocamentos dessas janelas de interrogação, regiões aleatórias pré-definidas na superfície dos corpos de prova, por onde calculam-se os deslocamentos sofridos; e com o auxílio de um algoritmo computacional, é possível a criação de mapas de deformações, que demonstram, qualitativamente e quantitativamente, os deslocamentos ocorridos em toda superfície do material ensaiado.

Diante da necessidade de avaliar materiais com função estrutural, a madeira destaca-se por possuir características atraentes, como, baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, o bom isolamento térmico e elétrico, além de ser um material complexo devido a sua anisotropia. Por isso, pode ser inferido que, se a técnica PIV for capaz de medir deslocamentos corretamente nesse material complexo, poderá ser utilizada em materiais de complexidade inferior, como aço e concreto. (PAIVA, 2012).

Portanto, objetivou-se neste trabalho, analisar os deslocamentos ocorridos na superfície de corpos de prova de madeira de *Pinus oocarpa*, através da construção de mapas de deformações, comparando os resultados da técnica PIV com os valores obtidos pelo relógio comparador, um método convencional.

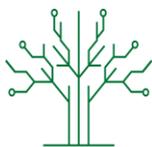
## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa, foram utilizados 25 corpos de prova de *Pinus oocarpa*. Tais corpos de prova foram serrados nas dimensões 2,5x2,5x41 cm utilizando-se uma serra circular esquadrejadeira, de acordo com a ASTM D143-04.

Depois da confecção, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de flexão estática de três pontos em uma máquina universal de ensaios com capacidade de carga de 30 toneladas-força, sendo a velocidade do ensaio de 1,3 mm/min, também conforme orientações, parcialmente adaptadas, da norma ASTM D143-04. Utilizou-se a técnica PIV para medição das deformações ocorridas durante os ensaios de flexão estática.

Realização:





## I SEMINÁRIO ONLINE:

### TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

Para a execução da técnica PIV, os corpos de prova foram marcados aleatoriamente com pontos de coloração preta por toda sua superfície. Para fins de comparação, posicionou-se um relógio comparador para encontrar os valores de deslocamento da madeira no centro das amostras.

A aplicação da técnica PIV consistiu em capturar imagens consecutivas durante a sessão de carregamento em períodos de tempo definidos. Para obtenção das imagens, foi utilizada uma câmera digital, alocada perpendicularmente à superfície da amostra. As imagens foram capturadas em intervalos de 30 segundos, após o acionamento da máquina universal de ensaios.

As imagens capturadas foram tratadas no software “ImageJ” para redução de seu tamanho de armazenamento afim de que o tempo de processamento das imagens no algoritmo seja reduzido.

Após sua obtenção, as imagens foram processadas em um algoritmo computacional onde foi possível a confecção de mapas de deformações para cada um dos corpos de prova, a análise dos deslocamentos obtidos em suas superfícies e a comparação destes valores com os dados advindos do relógio comparador por uma regressão linear.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de deformações resultante de um dos corpos de prova confeccionado na pesquisa está exposto na Figura 1.

A viga de madeira de *Pinus oocarpa* bi apoiada sofreu um carregamento central, por isso apresentou menores valores de deformação perto de seus apoios (setas menores e mais claras) e grandes deslocamentos nas superfícies próximas a aplicação da carga (setas maiores e mais escuras); esse fato é corroborado por Hibeler (2011).

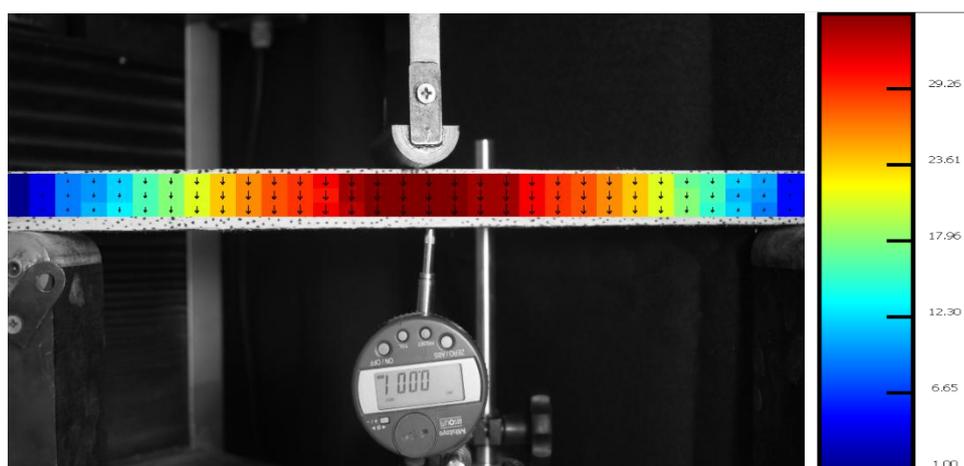
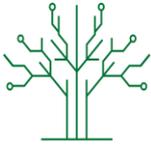


Figura 1: Mapa de deformações resultante do corpo de prova e a respectiva legenda do grau de deformação conforme a coloração.

Realização:





Além do mapa de deformações, a técnica PIV calculou as deformações em cada região escolhida. Essas medidas, obtidas em unidade de pixels foram, posteriormente, transformadas para a unidade de milímetros com o auxílio de uma régua de pixels, tornando-se possível a comparação de tais valores com os deslocamentos calculados pelo relógio comparador por meio de regressão linear (Figura 2).

O valor do coeficiente de determinação entre a técnica PIV e o relógio comparador é de 0,8728, portanto, em 87,28 % das vezes, a variável dependente (valores da técnica PIV) foi capaz de corresponder aos valores da variável independente (relógio comparador), o que demonstra a eficiência da técnica não destrutiva frente a um método convencionalmente utilizado.

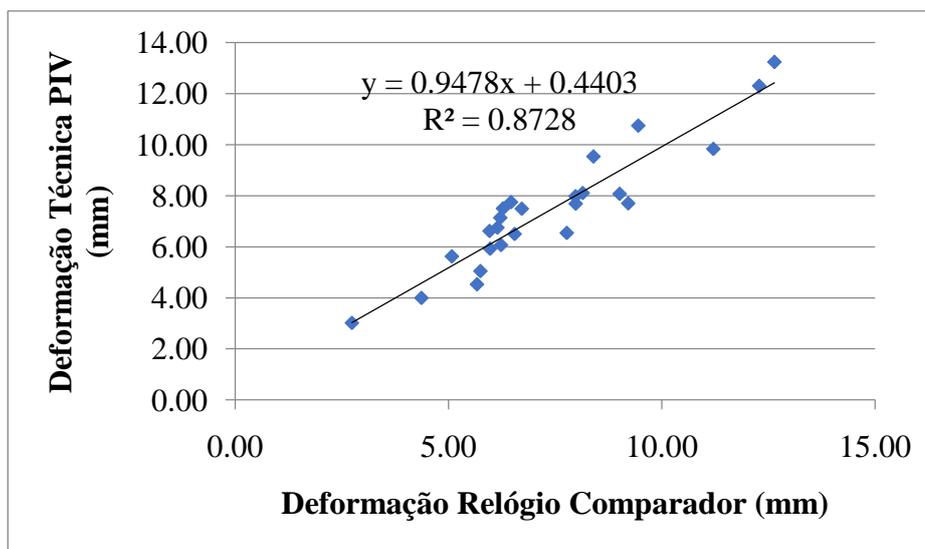


Figura 2: Ajuste linear entre as deformações ocorridas em cada corpo de prova, a partir dos dois métodos usados.

Outros pesquisadores também já comprovaram a eficiência da técnica PIV frente a métodos convencionais com relação a parâmetros mecânicos, como, por exemplo, Pereira (2017), Braga Junior *et al.* (2015) e Souza *et al.* (2014), o que demonstra o potencial de uso deste END nos materiais sólidos.

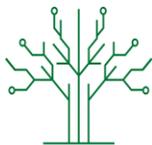
## CONCLUSÃO

Objetivou-se neste trabalho, analisar os deslocamentos ocorridos na superfície de corpos de prova de madeira de *Pinus oocarpa*, através da construção de mapas de deformações, comparando os resultados da técnica PIV com os valores obtidos pelo relógio comparador, um método convencional.

Qualitativamente, os mapas de deformações obtidos demonstraram que os corpos de prova de madeira de *Pinus oocarpa*, bi apoiados e submetidos carregamento central, apresentaram menores valores de deformação perto de seus apoios (setas

Realização:





## I SEMINÁRIO ONLINE:

### TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

menores e mais claras) e grandes deslocamentos nas superfícies próximas a aplicação da carga (setas maiores e mais escuras).

Já quantitativamente, os valores de deformações obtidos pela técnica PIV obtiveram, a partir de regressão linear, um coeficiente de determinação de 87,28 % com relação aos dados advindos do relógio comparador, demonstrando a eficiência da técnica PIV frente a um método convencionalmente utilizado.

Concluiu-se, portanto, que a técnica PIV foi capaz de demonstrar com precisão os deslocamentos ocorridos na superfície dos corpos de prova de madeira de *Pinus oocarpa* e apresenta potencial para caracterização de diversos outros elementos sólidos de menor complexidade como o aço e o concreto.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES, CNPq e FAPEMIG, o apoio pedagógico do orientador Rodrigo Allan Pereira e a toda infraestrutura oferecida pela Universidade Federal de Lavras.

Este trabalho foi parcialmente publicado na revista “*Brazilian Journal of Development*” em maio de 2020.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D143-14: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken, 2014.

BRAGA JÚNIOR, R. A. et al. Maps of deformations in a cantilever beam using particle image velocimetry (PIV) and speckle patterns. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 68, n. 3, p. 273-278, 2015.

HIBBELER, R.C. *Estática - Mecânica para Engenharia*. 12. ed. São Paulo, 528 p., 2011.

PAIVA, J.C. *Madeiras*. Disponível em: <http://ww1.jcpaiva.net/files/ensino/alunos/20022003/teses/020370017/madeiras/madeiras.htm>. Consultado em 18 de agosto de 2020.

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.

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

Realização:

