

# ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE VIGAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Gisele Cristina Antunes Martins<sup>1</sup>, Jorge Munaiar Neto<sup>2</sup> & Carlito Calil Junior<sup>3</sup>

## Resumo

*Elementos estruturais de madeira laminada colada (MLC) têm sido muito utilizados na América do Norte e Europa, entretanto no Brasil há restrições quanto ao uso razão da insegurança diante de potenciais riscos relacionado a incêndios. Esse trabalho investiga o comportamento térmico e mecânico de elementos estruturais de MLC expostos ao fogo, fabricados com as espécies de madeira e adesivos mais utilizados no mercado nacional. O objetivo principal dessa pesquisa é analisar a resistência ao fogo de elementos estruturais de MLC levando em conta o comportamento do adesivo em temperaturas elevadas. Para tal finalidade serão realizados ensaios em temperaturas elevadas no forno horizontal e ensaios à temperatura ambiente. Análises numéricas, com vistas a monitoramento de deflexão no meio do vão, distribuição de temperatura e tensão ao longo da profundidade dos elementos, serão realizadas e seus resultados serão comparados com outros resultados obtidos por meio das análises experimentais aqui previstas.*

*Palavras-chave: Madeira Laminada Colada. Incêndio. Vigas. Resistência ao fogo.*

## NUMERICAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF GLUED LAMINATED BEAMS IN FIRE CONDITIONS

### Abstract

*The elements of structural glued laminated timber (glulam) has been broadly used in North America and Europe, however in Brazil there are restrictions on its use due the potential fire hazards. In this work was evaluated the thermal and mechanical behavior of structural elements glulam when they are exposed to fire, and whose wood species and adhesives are commonly used in the Brazilian market. The main objective of this research is to analyze the fire resistance of structural elements of glulam taking into account the behavior of the adhesive at elevated temperatures. For this purpose, tests were conducted at high temperatures in a horizontal oven and tests at room temperature. Numerical analysis must be done to follow the deflection at mid-span, stress and temperature distribution along the depth of the elements and their results will be compared with other results obtained through experimental analyzes provided herein.*

*Keywords: Glulam. Fire. Beams. Fire resistance.*

*Linha de Pesquisa: Estruturas de Madeira*

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, giselemartins@usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, jmunaiar@sc.usp.br

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, calil@sc.usp.br



## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a combustibilidade da madeira e a insegurança frente aos potenciais riscos relacionados a incêndio são consideradas restrições em relação ao uso em sistemas estruturais de madeira, como ressaltado em Figueroa e Moraes (2009). Na madeira, como observado por Pinto (2005), a ação térmica provoca a degradação por combustão de seus componentes químicos, liberação de gases inflamáveis e formação do carvão. Portanto, haverá diminuição das propriedades de resistência e rigidez na madeira aquecida sob a base carbonizada e redução da seção resistente do elemento estrutural devido à formação do carvão. Durante a combustão do material é formada uma camada de carvão na superfície exposta, sendo que a espessura da camada aumenta continuamente a um ritmo lento. (LIE, 1977)

O carvão produzido pela combustão da madeira passa a funcionar como isolante térmico que retarda o fluxo de calor para o interior da seção, abrandando a velocidade de degradação térmica e retardando o avanço da frente de carbonização (FIGUEROA; MORAES, 2009). A camada de carvão, apesar de apresentar boa resistência térmica (barreira à propagação de calor), praticamente não tem resistência mecânica, ou seja, perde a capacidade de suporte do elemento. Entre as propriedades da MLC como um elemento estrutural de madeira, a resistência ao fogo é importante para segurança contra incêndio. A principal vantagem da MLC está associada ao fato que as seções transversais e o comprimento dos elementos não serem determinados pelo tamanho das toras. Uma variedade de larguras de perfis estruturais, incluindo formas curvas, é facilmente alcançada. O comportamento de estruturas em MLC tem sido assunto de várias pesquisas. A utilização de elementos estruturais em MLC em situação de incêndio requer estudos em contexto experimental referentes às combinações espécie de madeira e de adesivo, como apresentado em Degiovani, Segundinho e Calil Junior (2011). Portanto, o objetivo dessa pesquisa é avaliar o comportamento de elementos estruturais de madeira laminada colada em situação de incêndio com ênfase as combinações de espécie-tratamento preservativo e adesivo.

## 2 METODOLOGIA

Inicialmente, será efetuada uma investigação teórica sobre o tema proposto através de revisão bibliográfica de pesquisas disponíveis na literatura nacional e internacional. Em seguida métodos experimentais em temperatura ambiente e em temperaturas elevadas deverão ser empregados, além de uma análise numérica.

### 2.1 Análise experimental

Os elementos estruturais estudados serão fabricados em um processo industrial controlado e transportados para o Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM – SET- EESC), onde serão ensaiados. Três tipos de adesivos serão utilizados, Cascophen (Resorcinol), Melanina e Ureia Formaldeído e dois tipos de tratamento na madeira. As espécies de madeira estudadas serão *Lyptus* e *Pinus oocarpa*.

Os ensaios à priori que deverão ser realizados nesta pesquisa, salvo situações excepcionais que impossibilite sua realização, são:

### 2.1.1 Temperatura ambiente

Elementos estruturais serão carregados em temperatura ambiente para a determinação de propriedades mecânicas. O ensaio de flexão, em temperatura ambiente, será realizado em um pórtico de reação com cilindro hidráulico com capacidade de 480kN, acionado por um atuador de controle manual e sistema de aquisição de dados externo. A carga vertical é aplicada no elemento de forma gradual até que ocorra a ruptura.

### 2.1.1 Temperatura elevada

Os ensaios em temperaturas elevadas serão realizados no forno horizontal do Departamento de Estruturas – SET – EESC – USP, Figura 1. As dimensões internas do forno são 3,0 x 1,5 x 4,0 metros e a temperatura de trabalho máximo é 1260°C, utilizando a curva de incêndio padrão da ASTM E119. Durante o ensaio a viga será exposta ao fogo em três lados e será observada a temperatura no interior da viga de MLC, portanto serão posicionados termopares entre as lamelas (linhas de cola), como ilustrado na Figura 2.



Figura 1 - Forno para realização de ensaios em temperaturas elevadas.

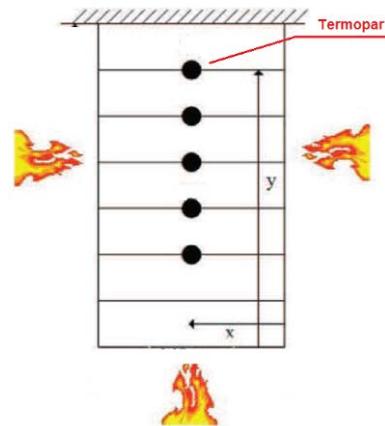


Figura 2 - Seção transversal da viga com posicionamento dos termopares.

## 2.2 Análise numérica

A primeira etapa do trabalho consistirá em se realizar, via código computacional ABAQUS, análises numéricas em contexto térmico e termo estrutural por meio da construção de modelos numéricos construídos com elementos finitos. Em posse dos parâmetros e respostas da análise experimental devem-se calibrar os resultados obtidos na primeira etapa. As informações dos ensaios tornará a análise numérica mais representativa com o que venha a acontecer na realidade. As relações dependentes da temperatura são densidade, calor específico, condutividade térmica e carbonização da espécie da madeira, são implementadas de acordo com a EN 1995-1-2. As propriedades da madeira e a carbonização usada para análise térmica em elementos finitos são verificadas após os ensaios em elevadas temperaturas.

## 3 DESENVOLVIMENTO

Até o momento foi realizado um ensaio termoestrutural em viga de MLC com a finalidade de calibrar e iniciar as atividades com o forno adquirido com o auxílio do projeto temático FAPESP, processo 2006/06742-5 – Segurança das Estruturas em Situação de Incêndio. A viga analisada tinha seção transversal de 12 cm x 44 cm e comprimento igual 6 m. Primeiramente, foi realizado um ensaio de flexão à temperatura ambiente com carregamento aplicado no centro do vão, para determinação da carga de ruptura do elemento. Na sequência, foi realizado no forno um ensaio de flexão em

temperaturas elevadas com aquecimento padronizado pela curva ISO 834: 1999. Os termopares do tipo k foram posicionados na seção central da viga de MLC em várias profundidades e o elemento foi exposto ao fogo em três faces (faces laterais e face inferior) e a face superior da viga foi revestida de manta cerâmica impedindo o aquecimento. O ensaio teve duração de 18 minutos e alcançou a temperatura média no interior do forno de 806,29°C, sendo a carga aplicada de 1400 Kgf e obtendo o deslocamento máximo no centro do vão de 15 mm.

#### 4 RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

Os resultados do ensaio preliminar mostraram que após 10 minutos de exposição ao incêndio padrão ISO 834: 1999, a temperatura média observada no centro da seção e nas suas faces estava em torno de 252 °C e 765 °C, respectivamente. Os resultados em altas temperaturas mostraram também uma diminuição em torno de 40% da carga última e do módulo de elasticidade em relação aos seus respectivos valores obtidos em temperatura ambiente.

Nos próximos ensaios além da distribuição de temperatura no interior do elemento, será avaliado e analisado a adesão da linha de cola em diversas combinações madeira-adesivos, influência do adesivo em finger joint e influência da densidade da madeira no desempenho do elemento.

#### 5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Concluimos, por meio da literatura estudada, que o aumento rápido da temperatura no interior da seção observado no ensaio preliminar, ocorreu devido algum erro no posicionamento dos termopares, portanto para os próximos ensaios será estudado e pesquisado a melhor forma de realizar a instrumentação da viga.

#### 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as agências de fomento CAPES, CNPq e FAPESP.

#### 7 REFERÊNCIAS

DEGIOVANI, A. S. E.; SEGUNDINHO, P.G.A.; CALIL JUNIOR, C. Comportamento da linha de cola em madeira laminada colada (MLC) sob altas temperaturas. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**. São Carlos, v. 12, n. 30, p. 31-48, set. 2011.

PINTO, E. M. **Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para o eucalyptus citriodora e eucalyptus grandis**. 2005. 118p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FIGUEROA, M. J. M; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 9, n.4, p. 157-174, out/dez. 2009.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 834-1: Fire resistance tests - Elements of building construction, Part 1: General requirements**, 1999.

LIE, T. T. A method for assessing the fire resistance of laminated timber beams and columns. Fire Research Section. Division of Building Research. **National Research Council of Canada**, Ottawa, Ont., Canada. 1977.