



MODELAGEM NUMÉRICA DE MADEIRA LAMELADA COLADA CRUZADA DE *Pinus taeda* PROVENIENTE DE FLORESTAS PLANTADAS BRASILEIRAS

Matheus Zanghelini Teixeira^{1*}, Talitha Oliveira Rosa²; Rodrigo Figueiredo Terezo³; Setsuo Iwakiri², Rosilani Trianoski² e Rafael Holdorf Lopez¹.

*Autor de contato: matheus.zt@posgrad.ufsc.br.

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil

² Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, Brasil

RESUMO

A mitigação dos efeitos do aquecimento global é um desafio crítico, com o setor da construção desempenhando um papel fundamental. A Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) surge como uma alternativa promissora para reduzir as emissões de CO₂ associadas à construção. Este estudo visa validar as propriedades físicas e mecânicas experimentais de painéis de MLCC feitos de *Pinus taeda* utilizando modelagem estrutural via Método dos Elementos Finitos (MEF). Testes experimentais e simulações de ensaios de flexão em quatro pontos foram comparados para avaliar a precisão do modelo numérico. Os resultados indicam que o MEF é uma ferramenta confiável para prever o comportamento estrutural dos painéis de MLCC, com uma diferença média de 13,35% entre os deslocamentos experimentais e numéricos. Os resultados ressaltam a importância da classificação mecânica das lamelas para reduzir a variabilidade, contribuindo para práticas construtivas mais sustentáveis no Brasil.

Palavras-chave: validação de propriedades, estruturas de madeira, simulação computacional, Método dos Elementos Finitos.

ABSTRACT

Mitigating the effects of global warming is a critical challenge, with the construction sector playing a key role. Cross-Laminated Timber (CLT) emerges as a promising alternative to reduce CO₂ emissions associated with construction. This study aims to validate the experimental physical and mechanical properties of CLT panels made from *Pinus taeda* using structural modeling via the Finite Element Method (FEM). Experimental tests and four-point bending test simulations were compared to evaluate the accuracy of the numerical model. The results indicate that FEM is a reliable tool for predicting the structural behavior of CLT panels, with an average difference of 13.35% between the experimental and numerical displacements. These findings highlight the importance of mechanical grading of lamellae to reduce variability, contributing to more sustainable construction practices in Brazil.

Keywords: validation of properties; timber structures; computational simulation; Finite Element Method.

1. INTRODUÇÃO

A mitigação dos efeitos do aquecimento global é um dos desafios mais urgentes da atualidade, e o setor da construção desempenha um papel crucial nesse cenário. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), a construção civil é responsável por cerca de 30% de todo o consumo de energia global e por aproximadamente 27% das emissões de carbono mundial. Para alinhar-se com as metas do Acordo de Paris, que foi assinado por 196 nações e visa limitar o aquecimento global, o setor precisa alcançar a neutralidade de carbono até 2050. Isso implica uma redução de 98% nas emissões de carbono em relação aos níveis de 2020 (UNEP, 2022).

Neste contexto, a Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) surge como uma alternativa promissora para mitigar as emissões de CO₂ associadas ao setor da construção civil. De acordo com Ruuska (2013), um estudo realizado na Europa demonstrou que o uso de painéis de MLCC pode resultar na absorção de aproximadamente 1,611 kg de CO₂ por kg de material, o que significa que esses painéis podem capturar pelo menos 150% de carbono em relação ao seu peso. Este efeito ocorre devido ao ciclo de crescimento da madeira e ao processo de produção dos painéis, que consome menos energia e gera menos resíduos comparado a materiais convencionais como o aço e o concreto, ambos grandes emissores de CO₂.

Os painéis de MLCC tiveram sua primeira patente registrada em 1985 na França, mas foi durante os anos 1990, na Alemanha e na Áustria, que sua aplicação começou a se difundir amplamente (Fink et al., 2018; Sanborn et al., 2019). No Brasil, essa tecnologia é mais recente, com os painéis sendo produzidos a partir de madeiras oriundas de florestas plantadas sob manejo sustentável. O país, que é o décimo maior produtor mundial de madeira serrada, com 8 milhões de m³, destaca-se no uso do *Pinus*, que ocupa a segunda maior área de florestas plantadas, com 1,9 milhão de hectares (Ibá, 2023).

A alta taxa de crescimento das florestas brasileiras impacta diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira utilizada, como o *Pinus*, resultando em características que podem diferir das encontradas em madeiras cultivadas em outros locais. Assim, estudos específicos sobre a viabilidade de painéis MLCC feitos de *Pinus spp.* no Brasil, como os realizados por Rosa (2023), Terezo et al. (2023), Vilela e Mascia (2021), Lucena et al. (2019) e Ecker et al. (2017), são essenciais para adaptar a tecnologia às condições nacionais.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) tem sido amplamente utilizado para prever o comportamento estrutural de MLCC, permitindo simulações detalhadas que podem ser comparadas com resultados experimentais, como ensaios de flexão estática, para validar as propriedades dos painéis. Vilela (2020) alerta que o uso de propriedades normativas deve ser feito com cautela, pois estudos demonstraram discrepâncias significativas entre os valores experimentais e aqueles previstos por normas brasileiras e europeias. Portanto, é recomendável a classificação experimental das propriedades físicas e mecânicas dos materiais para garantir a precisão dos modelos numéricos.