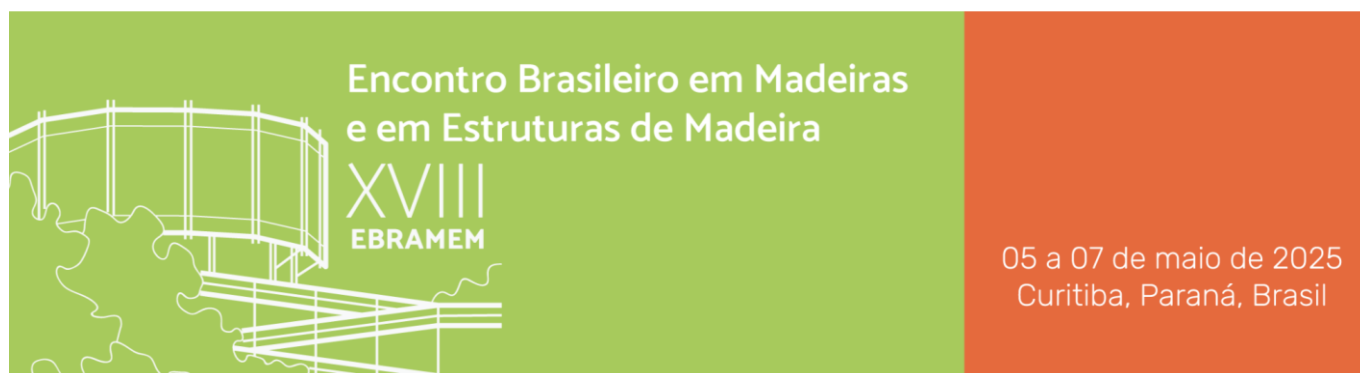




ESTIMAÇÃO DA RIGIDEZ À ROTAÇÃO DE LIGAÇÕES DE TRELIÇA USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Cibele Mota Menezes¹, Alexandre de Macêdo Wahrhaftig^{2*}; Luiz Antônio Malheiros Filho²; Mariely de Jesus Neri² e Castro Baptista Elias³

*Autor de contato: alixa@ufba.br

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Brasil

² Departamento de Construção e Estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Brasil

RESUMO

Avaliou-se, neste trabalho, a resposta do estimador proposto na ABNT NBR 7190 na definição da rigidez à rotação de ligações estruturais de treliças de madeira reforçadas com fibra de carbono e resina epóxi. Foram realizados ensaios em protótipos triangulares tendo as ligações confeccionadas exclusivamente com esses materiais. Os protótipos foram submetidos a carregamento vertical aplicado por meio de uma prensa de acionamento manual. Com isso, foi possível estabelecer uma relação matemática entre os deslocamentos obtidos no nó superior e a rotação da ligação. A média e o desvio padrão dos resultados experimentais foram adotados em uma simulação pelo Método Monte Carlo visando ampliar o conjunto amostral para posterior aplicação do estimador de média truncada da normativa brasileira. Ao fim, pode ser verificado que o uso do estimador reduziu em aproximadamente 18% o valor médio da rigidez rotacional quando comparado à média simples dos resultados experimentais. Isso pode ser entendido como uma reserva de segurança em termos de projeto, embora sua adoção possa subestimar a análise estrutural.

Palavras-chave: ligações de treliças de madeira, fibra de carbono, rigidez rotacional, método de Monte Carlo, estimação.

ABSTRACT

This study evaluated the response of the estimator proposed in ABNT NBR 7190 to define the rotational stiffness of structural connections of timber trusses reinforced with carbon fiber and epoxy resin. Tests were performed on triangular prototypes with connections made exclusively by these materials. The prototypes were subjected to vertical loading applied by means of a manually operated press. Thus, it was possible to establish a mathematical relationship between the displacements obtained in the upper node and the rotation of the connection. The mean and standard deviation of the experimental results were adopted in a simulation using the Monte Carlo method in order to expand the set of samples for later application of the truncated mean estimator of the Brazilian standard. In the end, it can be verified that the use of the estimator reduced the mean value of rotational stiffness by approximately 18% when compared to the simple mean of the experimental results. This can be understood as a safety reserve in terms of design, although it can take to underestimate analysis.

Keywords: wooden trusses connections, carbon fiber, rotational stiffness, Monte Carlo method, estimation.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de Eucalipto, um material tradicional na construção civil, é reconhecida pela sua leveza, trabalhabilidade e qualidade estética. É uma espécie encontrada facilmente no território brasileiro, possuindo características mecânicas e de trabalhabilidade relevantes. De acordo com Cunha et al. (2014), as pesquisas relacionadas a caracterização física e mecânica das espécies do gênero de Eucalipto no Brasil, permitiram a utilização desse material para fins estruturais, com o conhecimento da sua capacidade resistente. Segundo os autores, a adoção do eucalipto roliço pode auxiliar no fortalecimento da sustentabilidade na construção, por ser um material renovável, auxiliando na preservação das florestas naturais, além de proporcionar obras mais leves e com menos resíduos. Além disso, o eucalipto demanda menos energia na sua produção do que materiais como o aço, o alumínio e o concreto.

As treliças de madeira, em particular, são amplamente utilizadas na arquitetura e na engenharia civil devido à sua capacidade de atravessar grandes vãos e oferecer uma distribuição de cargas eficiente. Apesar disso, as ligações entre os nós dessas treliças constituem pontos críticos que exigem uma análise detalhada, uma vez que falhas nessas conexões podem comprometer a integridade estrutural.

Um fato que merece atenção, é que as ligações com componentes metálicos em treliças de madeira estão suscetíveis a corrosão em ambientes de alta salinidade e nos que possuem elevada concentração de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis. Essa situação pode levar a uma redução da confiabilidade da estrutura para o período previsto em projeto, o que tem exigido soluções construtivas capazes de superar esse problema. Uma alternativa, é o uso da fibra de carbono, uma vez que é imune à corrosão, tem alta resistência mecânica, não produz adição significativa de peso e propicia uma boa relação custo-benefício para as estruturas civis, principalmente a longo prazo, por permitir a redução de operações de manutenção.

Arelado a isso, a utilização de materiais compósitos tem se tornado uma solução crescente em sistemas construtivos, especialmente em estruturas de madeira, pois oferece uma gama de propriedades desejáveis, como flexibilidade e capacidade de suportar cargas variadas. O uso de fibra de carbono requer o emprego de adesivos, usualmente, resinas epóxis. Conforme os estudos de Pizzo e Smedley (2015), resinas epóxis bicomponentes apresentam boa resistência à tração e ao cisalhamento, alta resistência, tanto em ambientes secos, quanto úmidos, e ainda resistem bem a alguns produtos químicos.

Mohamad, Accordi e Roca (2011) realizaram uma análise comparativa, com ensaios de tração direta usando corpos de prova de madeira de *Eucalyptus grandis*, sem reforço, *in natura*, autoclavada, e corpos de prova de madeira reforçados com tecidos de fibra de vidro e de carbono unidirecional, com resina epóxi bicomponente, e observaram um ganho de 90% de resistência para esses últimos, no que diz respeito à tensão de ruptura. Já os corpos de prova com fibra de vidro obtiveram 50% de aumento da resistência. Esse estudo, que associa a resina epóxi com a espécie de *Eucalyptus grandis in natura* e autoclavada, demonstrou a viabilidade da utilização