

ANÁLISE NÃO LINEAR GEOMÉTRICA DE TRELIÇAS PLANAS DE MADEIRA A PARTIR DO MEF POSICIONAL

Thiago Damasceno Silva¹ (damasceno.tds@gmail.com); **André Luis Christoforo**² (christoforoal@yahoo.com.br); **Tarniê Nunes Vilela Narques**³ (tarnie.projetos@gmail.com); **Julia Naves Teixeira**⁴ (julianavest@gmail.com); **Francisco Antonio Rocco Lahr**⁵ (frocco@sc.usp.br);

^{1,2,3,4}Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Departamento de Engenharia Civil (DECiv), Brasil; ⁵Universidade de São Paulo (USP) – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Brasil;

Resumo

A evolução da tecnologia e industrialização das estruturas de madeira, incluindo técnicas de fabricação de peças compostas e de reforço estrutural, tem possibilitado diversos avanços na capacidade resistente dessas estruturas, como o emprego de elementos com maior esbeltez. Esses elementos mais flexíveis possibilitam ganhos de economia e otimização do material, contudo, podem sofrer grandes deslocamentos, não sendo aceitável a análise de seu equilíbrio na posição inicial apenas. Dessa forma, neste trabalho apresenta-se uma metodologia para análise não linear geométrica de sistemas treliçados planos de madeira, a partir de uma formulação posicional do método dos elementos finitos, para avaliar o comportamento de dois modelos de treliça. Madeiras folhosas com classe de resistência C60 são consideradas para composição das barras. A formulação do elemento finito é realizada a partir da minimização da energia potencial total, cujo sistema de equações é não linear em relação às posições nodais da estrutura e sua resolução é alcançada empregando o método de Newton-Raphson. Os resultados obtidos são comparados aos de uma análise linear geométrica para cada modelo, sendo possível observar que esta análise (linear) pode conduzir a valores inferiores de esforços internos e deslocamentos, o que influencia a etapa de dimensionamento e eventualmente pode oferecer riscos à segurança estrutural. Conclui-se que o emprego de análise não linear geométrica deve ser priorizado no projeto de estruturas de madeira, mesmo que isto implique em maior custo computacional e complexidade envolvida no procedimento de análise.

Palavras-chave: Estruturas de madeira. Análise não linear geométrica. Método dos elementos finitos. Formulação posicional.

Abstract

The evolution of timber structures technology and industrialization, including fabrication techniques of composite and structural reinforcement, has enabled several advances in these structures strength, such as the use of elements with greater slenderness. These flexible structural elements allow savings in material and optimization, however, they may suffer large displacements, and is not acceptable the analysis of their equilibrium in the initial configuration only. Thus, this work presents a methodology for geometric nonlinear analysis of timber plane truss, based on a positional formulation of the finite

element method, to evaluate the behavior of two truss models. Hardwoods with strength class C60 are considered in the elements. The finite element formulation is performed from the minimization of the total potential energy, whose nonlinear system of equations in relation to the nodal positions of the structure and its resolution is achieved using the Newton-Raphson method. The results obtained are compared to those of a linear geometric analysis for each model, and it can be observed that this linear analysis can lead to internal forces and displacements with lower values, which influences the design and may eventually offer structural safety risks. It is possible to conclude that the use of geometric nonlinear analysis should be prioritized in the design of timber structures, even if this implies in a higher computational cost and complexity involved in the analysis procedure.

Keywords: Timber structures. Geometric nonlinear analysis. Finite element method. Positional formulation.

1 Introdução

Diversos avanços relacionados à capacidade resistente de estruturas de madeira têm sido observados nas últimas décadas, incluindo a industrialização de peças compostas e diversos tipos de reforço estrutural, que contribuem para o emprego de elementos mais esbeltos. Esses elementos possibilitam ganhos de economia e otimização do material, sendo utilizados em diversas aplicações na construção civil, principalmente em sistemas estruturais de edifícios, coberturas, torres e pontes (CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003). Na Figura 1 é ilustrada uma passarela com sistema em arco de madeira, onde é possível observar a esbeltez dos elementos em relação ao vão vencido.

Figura 1 – Passarela com sistema em arco de madeira em Portland (EUA)



Fonte: Western Wood Structures (2019). Disponível em:

< <https://www.westernwoodstructures.com/projects> >. Acesso em: 03 nov. 2019

Apesar das vantagens possibilitadas por elementos esbeltos e mais flexíveis, é evidente que a estrutura pode sofrer grandes deslocamentos e instabilidade dependendo de suas propriedades físicas e geométricas, não sendo aceitável a análise de seu equilíbrio na configuração indeformada. Assim, uma formulação que permita a análise não linear geométrica da estrutura deve ser priorizada, devido à necessidade de avaliar seu comportamento conforme a deformação. A formulação posicional baseada no Método dos Elementos Finitos, concebida por Coda (2003) e colaboradores, tem se mostrado como uma opção interessante devido à simplicidade de sua abordagem e precisão dos resultados