

AValiação de Vibrações em Passarelas de Madeira por Meio de Modelo Reduzido

EVALUATION OF VIBRATION IN TIMBER FOOTBRIDGES BY SMALL-SCALE MODEL

Pedro Gutemberg de Alcântara SEGUNDINHO¹; Marcelo Rodrigo CARREIRA²;
Antonio Alves DIAS³

RESUMO - O desempenho das passarelas devido às vibrações causadas por carregamentos humanos tem sido investigado por meio de estruturas reais e modelos reduzidos ao longo dos anos. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o modelo teórico do cálculo de vibrações excessivas por meio das análises em modelo reduzido de uma passarela de madeira no sistema estrutural de vigas simplesmente apoiadas. Os dados foram obtidos de forma teórica, numérica, experimental estática e dinâmica. Quanto aos resultados do ensaio dinâmico experimental, esses foram obtidos por meio impacto, sendo medida a frequência natural na seção central do modelo reduzido. Após a obtenção dos resultados experimentais no modelo reduzido, foram feitas comparações com os resultados numéricos e teóricos. Concluiu-se que a formulação de Euler-Bernoulli é adequada para o cálculo da primeira frequência natural nas direções vertical e lateral em passarelas de madeira simplesmente apoiadas; entretanto, especial atenção deve ser dada para a avaliação da rigidez à flexão na direção lateral.

Palavras-chave: passarelas de madeira. vibrações induzidas por pedestres. estados limites de serviço. modelo em escala reduzida.

ABSTRACT - The performance of footbridges due to vibrations caused by human loads has been investigated by means of real structures and small-scale model over the years. This study aims at assessing the theoretical calculation of excessive vibration through the analysis of small-scale model of a timber footbridge in the structural system of simply-supported beams. Data were obtained from a theoretical, numerical, experimental static and dynamic. The results of experimental dynamic testing, these were obtained through impact, the natural frequency being measured in the central section of the reduced model. After obtaining the experimental results in the small-scale model, comparisons were made with numerical results and theoretical. It was concluded that the Euler-Bernoulli formulation is suitable for calculating the first natural frequency in vertical and lateral wooden walkways simply-supported, however, special attention should be given to the evaluation of bending stiffness in the lateral direction.

Keywords: timber footbridges. pedestrian-induced vibrations. serviceability limit state. small-scale model.

¹ Professor, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, CCA-UFES, pedro.segundinho@ufes.br

² Professor, Coordenação de Engenharia Civil, UTFPR, carreira@utfpr.edu.br

³ Professor, Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC-USP, dias@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

Os engenheiros civis há algum tempo estão cientes dos problemas causados pelas vibrações excessivas que provocam o fenômeno da ressonância nas passarelas. As fontes causadoras desse fenômeno são várias, podendo ter aspectos diferentes como, pedestres praticando alguns modos de caminhada, aglomerações excepcionais de pedestres, ventos fortes, chuva, passagem de veículos pesados sobre elas etc. O fenômeno da ressonância ocorre devido à proximidade entre as frequências de excitação relativas às fontes e as frequências naturais da estrutura, que aumentam as amplitudes de deslocamentos e as acelerações, provocando desconforto.

Em algumas situações, a atividade de caminhar, quando realizada sobre passarelas, produz vibrações excessivas que são desconfortáveis para os seres humanos e prejudiciais para essas estruturas. É importante ressaltar que o estudo do fenômeno das vibrações excessivas em passarelas causadas por pedestres não é recente no mundo. Mas, nas últimas décadas tem ocorrido uma demanda maior desse tipo de estrutura em virtude do grande aumento da população, tanto urbana quanto rural. Também ocorreu melhora na qualidade dos materiais utilizados e, como consequência, melhora nas propriedades mecânicas dos materiais usados na construção dessas estruturas que, privilegiando a estética, tendem a ser cada vez mais esbeltas e consequentemente, leves. Devido a tais circunstâncias os problemas de vibrações excessivas em passarelas têm sido mais frequentes e evidentes. Desde então, começou-se a perceber uma maior susceptibilidade a vibrações excessivas dessas estruturas quando submetidas a carregamentos dinâmicos induzidos por pedestres. As demais fontes causadoras de vibrações excessivas nas passarelas não foram levadas em conta neste trabalho, devido à sua menor ocorrência em relação ao desconforto que causam aos pedestres.

As vibrações induzidas por pessoas podem conduzir as estruturas ao estado limite de serviço, sendo o corpo humano muito sensível às vibrações, segundo Wright e Green (1959) e Smith (1988). É improvável que essas vibrações causem dano à estrutura, fato confirmado por vários casos relatados na literatura a respeito das vibrações em passarelas, nas quais não ocorreram danos na estrutura, apesar das vibrações excessivas. No entanto, em vista do desconforto causado aos usuários, as vibrações excessivas em passarelas têm sido tratadas com atenção em vários códigos normativos de países desenvolvidos, mesmo que existam muitas divergências na adoção dos limites para as vibrações excessivas, o que caracteriza uma indicação da incerteza de continuidade nos procedimentos de resolução dos problemas de vibrações induzidos por pedestres. Alguns códigos, como BS 5400 (1978), OHBDC (1991), Eurocode 5 (1997), SIA 160 (1989), CEB (1993), AASHTO (1997) e ISO 10137 (2005), apresentam diretrizes detalhadas que incluem valores limites para frequências e picos de acelerações. Tais códigos possuem procedimentos de cálculos que são baseados na definição dos carregamentos de pedestres, todavia há discrepâncias nas acelerações calculadas por meio deles e as medidas experimentais realizadas em passarelas, conforme foram relatadas por Eyre e Cullington (1985). É oportuno reforçar que outras ações decorrentes de distúrbios ou atos de vandalismo podem causar riscos para a integridade das estruturas.

Em relação ao cálculo das vibrações induzidas por pedestres nas passarelas de madeira no Brasil, a norma brasileira registrada NBR 7190 (1997) - Projeto de Estruturas de Madeira - não fornece diretrizes para verificação do estado limite de serviço. Apenas recomendações sucintas para projetos de pisos de madeira são sugeridas no texto dessa norma.

Neste trabalho são apresentadas as avaliações teórica, experimental e numérica em modelo reduzido, com objetivo de comprovação dos resultados das análises teóricas e numéricas de uma passarela de madeira em tamanho real. O modelo reduzido foi desenvolvido a partir de uma passarela de madeira com 24 m de vão e 2 m de largura, com