

Introdução

Na natureza todos os fenômenos são intrinsicamente dinâmicos, isto é, variam com o passar do tempo. A dinâmica, na definição de Newton, estuda os movimentos dos corpos provocados por forças a eles aplicadas e as forças que provocam esses movimentos.

Representar os fenômenos dinâmicos em toda a sua complexidade na área da engenharia de estruturas tem sido um grande desafio para os engenheiros. Por essa razão, e devido às dificuldades existentes para a inserção de carregamentos variantes no tempo e posterior verificação das respostas estruturais, várias hipóteses simplificadoras são assumidas. A mais corrente é a que trata a aplicação dos esforços como feita de maneira lenta, com velocidades desprezíveis, sendo usual não levar em conta o aparecimento de forças de inércia. O estudo de estruturas com essa condição é feito de forma quase estática, e na maior

parte das vezes desconsiderando o efeito dos movimentos em torno da configuração de equilíbrio, constituindo a conhecida Análise Linear. No entanto, podem resultar movimentos oscilatórios em torno da configuração de referência ocasionando efeitos indesejados. Os movimentos oscilatórios, nesse caso, podem levar a reações e esforços internos sollicitantes diversos dos determinados estaticamente.

Um caso clássico representativo são os efeitos provocados pelas rajadas de vento, nos quais a adoção de carregamentos estáticos equivalentes representam a hipótese geralmente adotada. Não obstante, existe uma penalidade associada à adoção de tal hipótese: há efeitos dinâmicos importantes capazes mesmo de causar acidentes que não podem ser verificados. Os postes de telecomunicações são exemplos de estruturas sensíveis aos efeitos dinâmicos da ação do vento. Esses postes são estruturas de elevada esbelteza, razão pela qual há a necessidade de se considerar a não-linearidade geométrica forçosamente existente. Assim sendo, a verificação mais precisa de seu comportamento é de suma importância.

O objetivo deste trabalho é investigar a influência da rigidez geométrica no comportamento dinâmico de estruturas esbeltas sob ação de vento, e estabelecer um método simplificado de cálculo para a determinação da frequência fundamental de sistemas estruturais que levem em conta a presença da não-linearidade geométrica. Para isso, é proposta uma expressão para a obtenção da frequência do primeiro modo de vibração e desenvolvidas atividades experimentais e análises numéricas que permitiram avaliar o efeito da rigidez geométrica nas frequências naturais de vibração dessas estruturas.

O trabalho de investigação foi conduzido primeiramente estabelecendo um modelo matemático simplificado com características dinâmicas baseadas em uma técnica tipo Rayleigh, que evidenciou a presença significativa da não-linearidade geométrica devida à esbelteza das peças.

A formulação desenvolvida por esse método foi constantemente aferida por outros métodos analíticos e numéricos como as soluções de Euler-Greenhill, para a carga crítica de flambagem, e o Método dos Elementos Finitos. As soluções matemáticas desses métodos são sucintamente apresentadas nos capítulo 3.

Experimentalmente, o método proposto para o cálculo da frequência foi avaliado por meio de ensaios em laboratório e pela medição da frequência de uma estrutura real. Para o primeiro, executou-se um programa de ensaios dinâmicos em laboratório, realizados nas dependências do Gabinete de Dinâmica Não-linear do LEM/EPUSP, instalado com recursos de projetos de pesquisa do Orientador, obtido junto à FAPESP. Para o segundo, foi prospectada uma estrutura destinada ao serviço de telefonia móvel celular.

A validação experimental da formulação desenvolvida neste trabalho, com os testes de laboratório, permitiu apreciar a sensibilidade dos sistemas estruturais ao efeito da força normal sobre a frequência natural de vibração do primeiro modo.

É de especial interesse destacar que a investigação de campo, conduzida sobre um poste metálico de telefonia móvel celular, situado na cidade de Aracajú, Estado de Sergipe, mostrou a adequabilidade dessa solução para o cálculo da frequência fundamental de estruturas reais da engenharia civil. Os resultados do trabalho de campo podem ser vistos no capítulo 7, destinado à investigação de estruturas reais.

As análises numéricas realizadas sobre as estruturas reais permitiram verificar que a expressão proposta neste trabalho para o cálculo da frequência fundamental pode ser facilmente entendida a estruturas de seção variável, bastando, para isso, empregar algum critério de ponderação para geometria do corpo e, em seguida, aplicar um fator de correção que ajusta o resultado ao valor correto.

Para a avaliação da influência da rigidez geométrica sobre a resposta dinâmica sob ação de vento, foram feitas aplicações comparativas a cinco postes de telecomunicações, com e sem a inclusão da rigidez geométrica, seguindo-se os modelos preconizados na NBR6123/88 – Forças devidas ao vento em edificações. Excepcionalmente, foi introduzida a não-linearidade material do concreto por meio do produto de rigidez.

Não constitui escopo da Tese a discussão dos modelos normativos para o cálculo da ação de vento. Salienta-se, no entanto, que a abordagem presente neste trabalho pode fornecer interessante substrato ao processo de discussão e revisão da NBR 6123/88, ao apresentar uma expressão para a determinação da frequência fundamental

das estruturas esbeltas em balanço, compatível com a que seria obtida empregando-se recursos computacionais sofisticados, que pode facilmente ser utilizada pelos engenheiros.