



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Engenharia do vento computacional e suas aplicações na engenharia civil. Análise aerodinâmica e aeroelástica



A.M. Awruch^{a,*}, A.L. Braun^a e M. Greco^b

^a Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil

^b Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 22 de março de 2013

Aceite a 18 de dezembro de 2013

On-line a 4 de julho de 2014

Palavras-chave:

Engenharia do vento computacional
Dinâmica dos fluidos computacional
Dinâmica das estruturas computacional
Aerodinâmica
Aeroelasticidade

R E S U M O

Procedimentos experimentais em túneis de vento têm sido tradicionalmente empregados como uma ferramenta fundamental para avaliação dos efeitos aerodinâmicos e aeroelásticos causados pela ação do vento sobre estruturas presentes na engenharia civil, tais como pontes e edifícios esbeltos. Nas últimas décadas, devido à grande versatilidade apresentada pelos métodos numéricos para a variação dos parâmetros físicos e geométricos, a simulação computacional tem-se tornado uma ferramenta muito atraente. A *dinâmica de fluidos computacional (DFC)*, a *dinâmica das estruturas computacional (DEC)* e técnicas de *interação fluido-estrutura (IFE)* são empregadas para a análise aerodinâmica e aeroelástica em diversos campos da engenharia. Neste trabalho estuda-se inicialmente a ação do vento no comportamento aerodinâmico e aeroelástico da ponte sobre o rio Guamá, Brasil, cujos estudos experimentais foram conduzidos pelo *Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC)* no *Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann*, da UFRGS. Procura-se neste caso simular os ensaios experimentais realizados para a determinação das características aerodinâmicas e aeroelásticas da ponte empregando procedimentos numéricos com modelos seccionais. Finalmente, apresenta-se a análise aeroelástica de um edifício esbelto flexível. Bons resultados são obtidos através da solução numérica, quando comparados com os resultados experimentais.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos os direitos reservados.

Computational wind engineering and its application in civil engineering. Aerodynamic and aeroelastic analysis

A B S T R A C T

Keywords:

Computational wind engineering
Computational fluid dynamics
Computational structural dynamics
Aerodynamics
Aeroelasticity

Experimental tests in wind tunnels have been traditionally employed as a fundamental tool to evaluate aerodynamic and aeroelastic effects due to wind action on civil engineering structures, such as bridges and slender buildings. In the last decades, due to the versatility presented by numerical methods to change physical as well as geometrical parameters, numerical simulation has become a very attractive tool. *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, *Computational Structural Dynamics (CSD)* together with *Fluid-Structure Interaction (FSI)* techniques are employed in aerodynamic and aeroelastic analysis in several engineering fields. Aerodynamic and aeroelastic behavior due to wind action on the Guama River Bridge, located at Pará State, Brazil, is first studied, taking into account experimental tests performed in the *Wind Tunnel Joaquim Blessman* of the *Building Aerodynamic Laboratory*, UFRGS. Numerical procedures are used to simulate experimental tests in order to determine aerodynamic and aeroelastic characteristics of the bridge, which is idealized by sectional models. Finally, an aeroelastic analysis of a flexible slender building is presented. Good results are obtained using numerical simulation, when compared with experimental tests.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

* Autor para correspondência.

Correios eletrônicos: awruch@terra.com.br (A.M. Awruch), allbraun@ig.com.br (A.L. Braun), mgreco@dees.ufmg.br (M. Greco).

1. Introdução

Por muitos anos os túneis de vento têm sido a única ferramenta disponível para a avaliação da ação do vento sobre as estruturas em geral. No entanto, com o atual estágio tecnológico dos computadores aliado à maturidade dos métodos numéricos já desenvolvidos, a simulação numérica tem-se tornado atualmente uma ferramenta essencial na análise da ação do vento sobre estruturas. Através da utilização da *dinâmica dos fluidos computacional (DFC)* foi possível o desenvolvimento da chamada *engenharia do vento computacional (EVC)*, que trata de diversos problemas de interesse na engenharia civil, tais como a aerodinâmica de pontes e prédios, conforto de pedestres, dispersão de poluentes, análise da circulação num meio urbano, entre outros.

No caso de estruturas de pontes de grande vão, a ação do vento pode ser estimada através da identificação das características aerodinâmicas e aeroelásticas da seção. Por meio dos coeficientes aerodinâmicos, tais como os coeficientes de arrasto, de sustentação, de torção e de pressão, é possível determinar-se as forças que o vento exerce, em termos estáticos, sobre a estrutura. Por outro lado, como consequência da forte interação entre as forças aerodinâmicas e as vibrações apresentadas pela estrutura, podem surgir problemas de instabilidade aeroelástica, como o drapejamento (ou *«flutter»* na terminologia em inglês), por exemplo, muito comum neste tipo de estrutura devido ao seu baixo amortecimento e a sua baixa rigidez. O drapejamento tem como característica induzir a uma estrutura a um movimento oscilatório de amplitude crescente, uma vez que a velocidade crítica é atingida. Este fenômeno é considerado como sendo a causa da grande maioria dos acidentes ocorridos até hoje em pontes de grande vão livre. Em edifícios esbeltos, o vento pode provocar desprendimentos de vórtices que geram oscilações crescentes na direção transversal ao escoamento. Para a análise de fenômenos aeroelásticos, além da *dinâmica de fluidos computacional (DFC)*, utilizada na análise aerodinâmica, é necessária a utilização de métodos da *dinâmica das estruturas computacional (DEC)* e levar em conta a *interação fluido-estrutura (IFE)*.

Neste trabalho é realizada a análise aerodinâmica e aeroelástica da ação do vento sobre as seções de projeto da ponte sobre o rio Guamá, localizada no estado do Pará, Brasil, simulando, assim, os ensaios realizados. Esta ponte teve os estudos experimentais conduzidos pelo *Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC)* da *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)* no Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann, sendo os resultados apresentados nas *XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural*, realizada na Universidade de Brasília, DF, Brasil, no ano de 2002 Souza et al. [1] e Rocha et al. [2]. Os ensaios experimentais foram executados sobre diferentes modelos seccionais, determinando-se os coeficientes aerodinâmicos em função dos ângulos de ataque, além da determinação de velocidades críticas que provocam instabilidade.

A análise do escoamento de um fluido incompressível é feita utilizando o *método dos elementos finitos (MEF)* para a discretização espacial e um esquema explícito para a discretização temporal. Um dos primeiros trabalhos na análise aerodinâmica numa seção de uma ponte usando o MEF foi realizado por Kawahara e Hirano [3], sendo que posteriormente Selvam e Bosch [4], Shirai e Ueda [5] e Bruno e Khris [6], entre outros, realizaram um trabalho tratando o mesmo tema. Selvam et al. [7] e Frandsen e Mc Robbie [8] usaram o MEF para a análise aeroelástica de pontes, enquanto Larsen e Walther [9] usaram o método dos vórtices discretos. Morghental e Mc Robie [10] compararam diversos métodos de interação fluido-estrutura para pontes de grandes vãos.

Também é realizada a análise aeroelástica de um edifício esbelto flexível, realizado experimentalmente no *LAC/UFRGS* por Miguel [11] e Trein [12]. Numerosos são os trabalhos para analisar os efeitos aerodinâmicos através da simulação numérica,

considerando modelos de edifícios rígidos. Entretanto, raramente são encontrados modelos numéricos para tratar fenômenos aeroelásticos em edifícios esbeltos e flexíveis. Como exemplo pode-se mencionar o trabalho de Swaddiwudhipong e Khan [13].

Emprega-se uma descrição *Arbitrária Lagrangeana-Euleriana (ALE)* no caso da análise do comportamento aeroelástico para descrever o movimento da malha, que acompanha os deslocamentos da estrutura. O modelo de *Smagorinsky* ou também denominado *modelo de simulação de grandes vórtices*, conhecido na literatura em inglês por *large eddy simulation* ou *LES* (Petry e Awruch [14] e Popielek et al. [15]), é incluído para simular as escalas de turbulência menores que a da resolução da malha utilizada. Em modelos seccionais, a estrutura é considerada como um corpo rígido com restrições elásticas segundo os componentes de deslocamento horizontal e vertical e segundo a rotação correspondente à torção, já em modelos tridimensionais são considerados corpos elásticos deformáveis. O acoplamento entre o fluido e a estrutura é efetuado aplicando as condições de compatibilidade e de equilíbrio na interface. A análise dinâmica da estrutura é feita utilizando o algoritmo clássico de Newmark ou algoritmos com conservação de energia (em problemas com significativa não linearidade geométrica).

2. As equações que governam o escoamento

As equações que governam o escoamento com as correspondentes condições de contorno, considerando uma descrição *ALE*, são as seguintes:

a) Equações de conservação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + (v_j - w_j) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} \delta_{ij} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + v_t) \left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) + \lambda \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right] = 0 \quad (1)$$

(i, j, k = 1, 2, 3) em Ω

b) Equação da conservação de massa:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + (v_j - w_j) \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho c^2 \frac{\partial v_j}{\partial x_j} = 0 \quad (j = 1, 2, 3) \text{ em } \Omega \quad (2)$$

que é obtida considerando que $\frac{\partial p}{\partial \rho} = c^2$, sendo Ω o domínio do fluido.

c) Condições de contorno:

$$v_i = w_i \quad (i = 1, 2, 3) \text{ no contorno do corpo } \Gamma_{cc} \quad (3)$$

$$\vec{v} = \vec{\tilde{v}} \text{ no contorno } \Gamma_{cv} \text{ ou } p = \tilde{p} \text{ no contorno } \Gamma_{cp} \quad (4)$$

$$\left[\frac{-p}{\rho} \delta_{ij} + (v + v_t) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right] n_j = \frac{\tilde{t}_i}{\rho} = S_i \quad (i, j, k = 1, 2, 3) \text{ em } \Gamma_\sigma \quad (5)$$

Nas equações apresentadas acima, v_i e p (que são, respectivamente, as componentes da velocidade e a pressão) são as incógnitas do problema. As viscosidades cinemática ν e volumétrica λ , a massa específica ρ e a velocidade de propagação de ondas sonoras c , são as propriedades do fluido. Para uma descrição puramente Euleriana, a velocidade de movimento da malha, cujas componentes são w_i , é nula. Já para uma descrição puramente Lagrangeana, a velocidade de movimento da malha coincide com a do fluido, ou seja, $v_i = w_i$. No caso de uma descrição do tipo *ALE*, os vetores de velocidade da malha ($\vec{w}$) tomam valores não nulos e intermediários entre 0 (nos contornos do domínio computacional) e a própria velocidade do

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702487>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702487>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)