



## Uma abordagem com superposição modal para problemas de interação fluido-estrutura



P.M.V. Ribeiro<sup>a,\*</sup>,<sup>1</sup> e L.J. Pedroso<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Departamento de Engenharia Civil Recife, PE, Brasil

<sup>b</sup> Universidade de Brasília - UnB. Departamento de Engenharia Civil Brasília, DF, Brasil

### INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

#### Historial do artigo:

Recebido a 23 de julho de 2014

Aceite a 3 de fevereiro de 2015

On-line a 30 de maio de 2015

#### Palavras-chave:

Interação fluido-estrutura  
Vibroacústica  
Dinâmica das estruturas  
Superposição modal  
Analítica  
Numérica

### R E S U M O

Em muitas aplicações práticas da engenharia verifica-se a interação de domínios distintos, onde os efeitos de acoplamento são importantes na avaliação da resposta estrutural. Um caso de interesse é dado pela interação existente entre uma estrutura vibrante e um reservatório, convenientemente simplificado para um modelo acústico. Este trabalho apresenta uma solução analítica fechada e uma abordagem simplificada para o problema de interação dinâmica existente entre uma estrutura reticulada e uma cavidade acústica bidimensional. Inicialmente, frequências e modos de vibração são obtidos de forma exata e em seguida as contribuições individuais de cada modo são combinadas para a construção da resposta dinâmica estrutural. Uma rotina de integração numérica Runge-Kutta de 4.<sup>o</sup> ordem é empregada na avaliação de deslocamentos relativos. Finalmente, são apresentadas aplicações práticas onde os procedimentos propostos são empregados de forma eficaz na solução de excitações senoidais e sísmicas. Estes resultados são comparados a soluções obtidas com modelos em elementos finitos, indicando a validade do procedimento proposto. A participação dominante do modo fundamental revela que a abordagem simplificada pode ser empregada com expressões práticas para os termos envolvidos na equação de movimento. Resultados imediatos incluem a validação de soluções numéricas e a análise paramétrica das variáveis envolvidas. Adicionalmente, o procedimento proposto pode ser generalizado para situações envolvendo condições de contorno diversas.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### A mode superposition approach for fluid-structure interaction problems

#### S U M M A R Y

In many practical engineering applications there is the interaction of distinct domains, where coupling effects are important in assessing the structural response. A particular case is given by the interaction between a vibrating structure and a reservoir, with the latter conveniently simplified to an acoustic model. This paper presents a closed form analytical solution to the dynamic interaction problem of a framed structure and a two dimensional acoustic cavity system. Initially, eigenvalues and eigenmodes are obtained accurately and then individual contributions of each mode are combined to build the structural dynamic response. A fourth order Runge-Kutta numerical integration routine is applied on the evaluation of relative displacements. Finally, practical applications are given, where the proposed method is employed effectively in the solution of sine and seismic excitations. These results are compared to finite element models, with an excellent agreement achieved by the proposed procedure. It is also verified that the fundamental mode shape governs the dynamic response, enabling the use of simplified expressions

#### Keywords:

Fluid-structure interaction  
Vibroacoustics  
Structural dynamics  
Mode superposition  
Analytical  
Numerical

\* Autor para correspondência. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária. Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Engenharia Civil. CEP 50740-530. Recife-PE.

Correios eletrônicos: [paulo.vribeiro@ufpe.br](mailto:paulo.vribeiro@ufpe.br) (P.M.V. Ribeiro), [lineu@unb.br](mailto:lineu@unb.br) (L.J. Pedroso).

<sup>1</sup> Tel.: +55 81 2126 8220/8221.

for the generalized parameters. Immediate results include validation of numerical solutions as well as parametric studies of the involved variables. The proposed procedure can be extended for different sets of boundary conditions.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introdução

Em diversas aplicações práticas da engenharia encontra-se o problema de interação entre um fluido e uma estrutura vibrante, tais como: barragens e elementos constituintes, pontes, reatores nucleares, propulsores de foguetes, estruturas «off-shore», aeronaves, dentre outros. Quando significativos, os efeitos produzidos por um fluido são capazes de influenciar a magnitude, as frequências e a estabilidade de um sistema estrutural. Dentre as diversas categorias de interação destaca-se, por sua simplicidade, a interação entre uma estrutura e um fluido acústico. Este campo de estudo é denominado Vibroacústica ou Acústica Estrutural [1].

A abordagem desses problemas envolve a idealização do reservatório como uma cavidade acústica, com condições de contorno previamente definidas, submetida à ação de uma fronteira vibrante representada pela estrutura em contato com o fluido. Assim, o problema é reduzido às seguintes soluções: (1) equação da onda combinada com a equação de movimento da estrutura, indicando a resposta dinâmica do sistema estrutural; (2) equação de Helmholtz combinada com a equação da estrutura em vibração livre, fornecendo os autovalores e autovetores do sistema acoplado. Resultados imediatos incluem a avaliação dos efeitos dinâmicos produzidos pelo fluido e sua influência no cálculo de deslocamentos e tensões no sistema estrutural. De maneira geral, a complexidade matemática envolvida na segunda abordagem é consideravelmente reduzida quando um procedimento de superposição modal é empregado na avaliação da resposta dinâmica (procedimento indireto). Ainda assim, existem referências clássicas onde o problema é solucionado de forma direta no domínio do tempo [2]. Embora possível para problemas de natureza simplificada, uma abordagem exata geralmente resulta na avaliação de séries infinitas, com expressões de grande complexidade. Assim, a solução deste tipo de problema requer a utilização de um computador. Uma alternativa surge com a utilização de procedimentos simplificados, onde considerações particulares são introduzidas nas formulações. Dentre estas destaca-se a consideração de um fluido incompressível, que simplifica em grande parte a avaliação das expressões envolvidas.

Esta pesquisa apresenta uma solução analítica fechada e uma abordagem simplificada para o problema de interação dinâmica existente entre uma estrutura reticulada e uma cavidade acústica bidimensional. Problema semelhante foi estudado por [3–7], com a avaliação de autovalores e autovetores do sistema viga-cavidade. Em todos os trabalhos a estrutura analisada foi associada a uma viga esbelta, incluindo apenas a rigidez à flexão. As condições de contorno da cavidade acústica foram aplicadas a um reservatório de extensão longitudinal infinita, com a consideração ou não de ondas de superfície. Um trabalho mais recente de [8] aborda o mesmo problema incluindo a condição de radiação de Sommerfeld. Este pequeno retrospecto indica o interesse da comunidade científica nesta temática, com aplicações diretas em estudos paramétricos e validação de códigos numéricos. Outro campo de interesse é dado por problemas de interação fluido-estrutura em estruturas hidráulicas, tais como píeres, ou torres em contato com um fluido, submetidas a excitações sísmicas. Esse problema foi inicialmente estudado por [9]. Uma investigação mais recente foi realizada por [10].

Neste trabalho será apresentada uma contribuição adicional, onde uma solução no domínio do tempo é obtida de forma indireta por meio da superposição modal das respostas exatas individuais. Adicionalmente, a abordagem simplificada proposta permite a avaliação dos parâmetros generalizados envolvidos na equação de movimento do modo fundamental. Assim, um problema relativamente complexo pode ser solucionado de forma prática, produzindo resultados satisfatórios para excitações de natureza sísmica.

## 2. Modelo matemático do fluido acústico

Adota-se um modelo de pequenos deslocamentos com o fluido suposto invíscido, homogêneo e linearmente compressível. Neste caso, o domínio é governado pela equação da onda (fluido acústico), com condições de contorno tributárias da interface entre os meios e dos limites do reservatório. A figura 1 indica uma representação esquemática deste problema, onde S1 – S4 são condições de contorno e  $u(y, t)$  a função de deslocamentos da estrutura associada.

As condições de contorno são estabelecidas com a consideração de um reservatório finito de comprimento horizontal  $L_x$  e vertical  $L_y$ . Para o caso particular onde os efeitos de ondas de superfície são desprezados e assumindo uma hipótese de não-perturbação em  $x = L_x$ , resulta:

$$S1 \rightarrow \left. \frac{\partial p(x, y, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = -\rho_f \ddot{u} \quad (1)$$

$$S2 \rightarrow p(L_x, y, t) = 0 \quad (2)$$

$$S3 \rightarrow \left. \frac{\partial p(x, y, t)}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (3)$$

$$S4 \rightarrow p(x, L_y, t) = 0 \quad (4)$$

onde  $\rho_f$  corresponde a massa específica do fluido. Uma solução conveniente para o problema anterior é dada pela hipótese de vibrações harmônicas, com a fronteira e o fluido acústico governados pelas equações abaixo:

$$u(y, t) = U(y) e^{-i\omega t} \quad (5)$$

$$p(x, y, t) = P(x, y) e^{-i\omega t} = F(x) G(y) e^{-i\omega t} \quad (6)$$

onde  $\omega$  indica a pulsação do sistema viga-cavidade.

Neste caso, o fluido tem a equação da onda reduzida a equação de Helmholtz:

$$\nabla^2 P + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 P = 0 \quad (7)$$

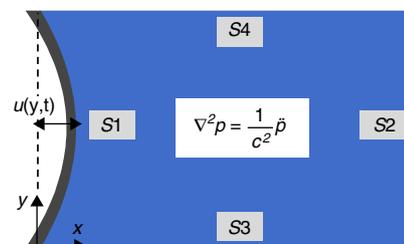


Figura 1. Representação da cavidade acústica.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702505>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702505>

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