

# MODELOS DE VIBRAÇÕES DE PLACAS REFORÇADAS UTILIZADAS EM PLATAFORMAS OFFSHORE

*Alexandre Augusto Pescador Sardá*<sup>1</sup>  
*Arcanjo Lenzi*<sup>2</sup>

**Resumo.** Este trabalho tem por objetivo apresentar um modelo para determinação da resposta de placas reforçadas por vigas utilizando uma abordagem analítica. Os modelos incluem vigas dos tipos L e T invertida e uma placa reforçada por uma viga L submetida a um carregamento distribuído e considerando as ondas transversais e os efeitos das ondas propagando-se no plano da placa. Este modelo pode ser usado para a determinação dos fatores de acoplamento de estruturas a serem utilizadas em uma análise de SEA (Análise Estatística Energética). Este método é extremamente útil devido ao baixo tempo de processamento comparado aos métodos existentes e a precisão ser consideravelmente boa especialmente nas altas frequências. Os resultados obtidos são validados comparando-se com o Método dos Elementos Finitos.

**Palavras-Chave:** Acústica estrutural, Ondas no plano, Placas reforçadas, Fluxo de potência.

**Abstract.** This paper presents the development of a vibration model of reinforcing beams such as used in offshore platforms structures. Beams are modeled as two plates welded in L and T shapes, representing the web and flanges. Flexural and in-plane shear waves are considered in both plates. Results produced by this model were compared to Finite Elements results showing excellent agreement. Computational costs are significantly reduced when compared to Finite Element models.

**Keywords:** Vibration, reinforced plates, offshore platform structures, in-plane waves.

---

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Mecânica. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. *e-mail: pescador@cefetpr.br*

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Southampton – Inglaterra. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. *e-mail: arcanjo@emc.ufsc.br*

## 1. Introdução

Plataformas “offshore” caracterizam-se pela alta concentração de máquinas e equipamentos de grande porte instalados diretamente sobre a estrutura principal. As vibrações geradas por estas fontes propagam-se a grandes distâncias, atingindo, por exemplo, a região dos alojamentos, nos quais os níveis de ruído causados pelas vibrações da estrutura devem ser controlados.

A estrutura de uma plataforma é composta basicamente de placas reforçadas por vigas, conforme Figuras 1.1.a e 1.1.b. As vigas, cuja finalidade é suportar o peso das máquinas e equipamentos instalados, são dispostas em forma de grelhas e têm dimensões que vão até 5,0 m de comprimento, 0,5 m de altura, espessura da alma de 20 mm e largura da base de 0,2 m e são dispostas, na maioria das vezes, de 0,5 m a 2,0 m de distância umas em relação às outras. As placas têm espessuras variando de 5 mm a 10 mm.

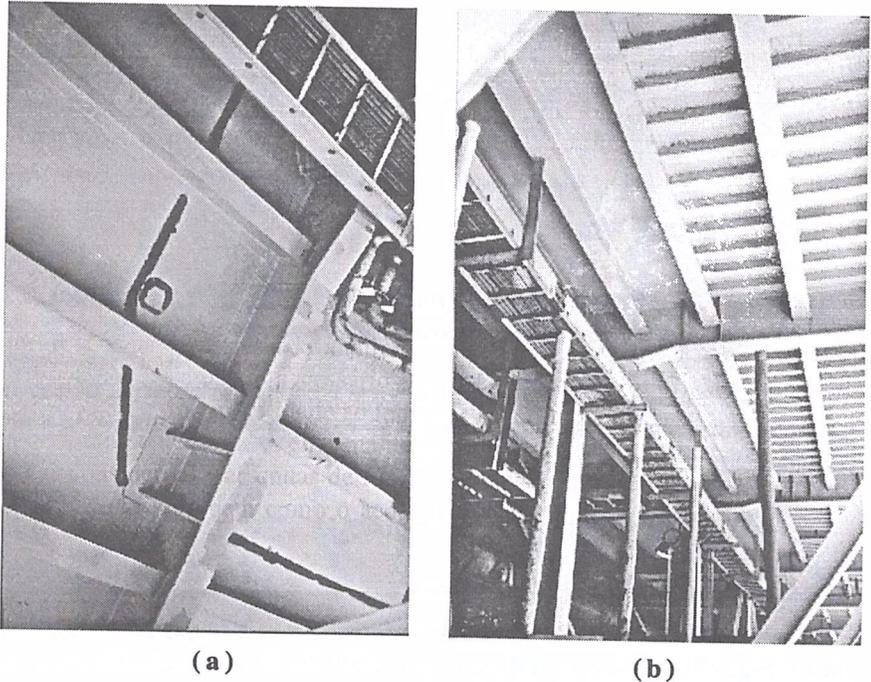
Na determinação do fluxo de energia e da energia vibratória de um componente estrutural, o conhecimento da média espacial da velocidade é suficiente. Um dos métodos utilizados para a determinação da resposta de estruturas é o Método dos Elementos Finitos (MEF). O problema apresentado pelo MEF é a limitação em relação ao tempo de processamento. Nas altas frequências, em que o comprimento de onda é menor, necessita-se de um número elevado de elementos para a correta representação do modelo, tornando esse método inviável para estruturas de grande porte.

Análises das vibrações destas estruturas podem também ser feitas através da Análise Estatística Energética – SEA. Segundo Lyon (1975), SEA foi desenvolvido como uma metodologia de abordagem do problema de vibrações de estruturas complexas, utilizando métodos analíticos e experimentais. A variável primária deste método é a energia, pois permite tratar de sistemas estruturais e acústicos. Este método é utilizado somente em altas frequências, nas quais a densidade modal é normalmente elevada. Porém, o uso de SEA exige o conhecimento de parâmetros ainda em estudo, como o fator de perda por acoplamento e a eficiência de irradiação. Dentre os parâmetros relacionados a esta metodologia de análise o fator de acoplamento é o que requer a mais cuidadosa determinação, devido à grande influência que as vigas de reforço exercem sobre o fluxo de energia entre as chapas.

Os métodos utilizados para determinação dos parâmetros de SEA são analíticos e proporcionam uma resposta mais precisa, além de permitirem análises em estruturas de maiores dimensões e em altas frequências. Permite também a análise apenas em uma faixa de frequência de interesse.

As análises de placas reforçadas geralmente consideram o modelo da placa acoplada com o modelo da viga. Porém, o modelo da viga não considera as ressonâncias próprias da alma e da aba. O objetivo deste trabalho consiste em determinar a resposta média espacial, em faixas de frequência, utilizando um modelo determinístico. As vigas são modeladas como placas acopladas e

sua resposta é determinada analiticamente. Para a correta determinação da resposta da estrutura, é necessário o conhecimento das funções-resposta em frequência do tipo mobilidade ao longo da linha de união entre as placas. Para isso, torna-se necessário, em uma primeira etapa, desenvolver um modelo de vigas considerando as ondas de flexão e de cisalhamento no plano da alma e das abas da viga, bem como o acoplamento entre essas ondas na união das placas.



*FIGURA 1.1: a) Vista de uma parede típica de plataformas offshore. b) Vista inferior de um piso típico utilizado em plataformas offshore.*

## **2. Vibrações em placas finas**

### **2.1. Ondas de flexão em placas finas**

Neste modelo, são consideradas ondas de flexão em placas finas, cuja aplicação é adequada para espessuras até um décimo do comprimento de onda. Nesse caso, para espessuras da ordem de 10 mm a faixa de frequência de interesse pode estender-se até 5000 Hz, aproximadamente. Os problemas de propagação de energia vibratória em estruturas *offshores* concentram-se na faixa até 2000 Hz.

Considerando uma placa de espessura  $h$ , como mostrado na Figura 2, e um elemento diferencial de placa de dimensões  $dx$  e  $dy$ , atuam nesse elemento forças cortantes, momentos fletores e momentos torçores. O carregamento externo distribuído é representado por  $q(x,y,t)$ .

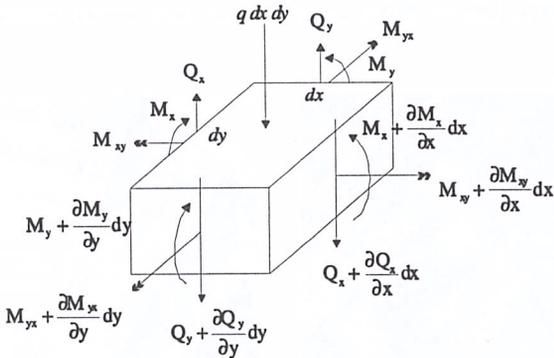


FIGURA 2 - Elemento de placa fina indicando os esforços internos e carregamento transversal externo.

Realizando o equilíbrio dinâmico desse elemento diferencial, obtém-se a equação governante para o movimento de uma placa fina, submetida a um carregamento distribuído pode ser escrita como:

$$D \nabla^4 w(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = q(x, y, t) \quad (1)$$

### 2.2. Ondas no plano em placas finas

Para um elemento de placa submetido somente à forças no plano, conforme Fig. (2), tem-se os esforços por unidade de comprimento  $N_x$  e  $N_y$ , decorrentes da distribuição das tensões normais  $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  e o esforço cortante  $N_{xy}$  gerado por  $\tau_{xy}$ .

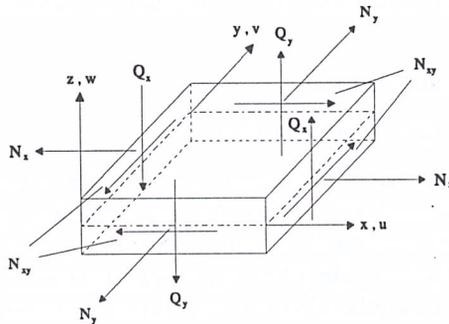


FIGURA 3 – Esquema de placa fina submetida a carregamentos no plano.

Os esforços que atuam no elemento podem ser escritos como (Hwang, 1973):

$$N_x = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$N_y = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial v}{\partial y} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (3)$$

$$N_{xy} = \frac{Eh}{2(1+\nu)} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (4)$$

A equação resultante para o movimento na direção x é

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{(1-\nu^2)\rho}{E} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} = 0 \quad (5)$$

Procedendo-se de forma análoga para a direção y obtém-se a equação do movimento nesta direção:

$$\frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{(1-\nu^2)\rho}{E} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0 \quad (6)$$

As Equações (5) e (6) resultantes, acopladas em x e y através dos termos u e v descrevem o movimento resultante no plano da placa.

### 2.3. Soluções para ondas de flexão

Reescrevendo a Equação (1), que descreve o movimento de uma placa fina, submetida a um carregamento distribuído  $q(x,y,t)$  e fazendo-se esse carregamento distribuído igual a zero, tem-se

$$D \nabla^4 w(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (7)$$

Considerando uma placa bi-apoiada, a expressão geral que satisfaz a equação diferencial (7) pode ser expressa na seguinte forma, sendo  $k_y$  descrito por (28):

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \Psi_n(x) \sin(k_y y) e^{j\omega t} \quad (8)$$

As funções bases  $\Psi_n(x)$ , cujas constantes são determinadas através das condições de contorno aplicadas nas bordas, são dadas por:

$$\Psi_n(x) = A_1 e^{s_1 x} + A_2 e^{s_2 x} + A_3 e^{s_3 x} + A_4 e^{s_4 x}, \quad (9)$$

sendo

$$s_1 = \sqrt{k_y^2 + k^2} \quad , \quad (10)$$

$$s_2 = \sqrt{k_y^2 - k^2} \quad , \quad (11)$$

$$s_3 = -\sqrt{k_y^2 + k^2} = -s_1 \quad , \quad (12)$$

$$s_4 = -\sqrt{k_y^2 - k^2} = -s_2 \quad , \quad (13)$$

e

$$k = \sqrt{\frac{\rho \omega^2}{D}} \quad . \quad (14)$$

Assim, a resposta transversal da placa pode ser escrita como:

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{A_1 e^{s_1 x} + A_2 e^{s_2 x} + A_3 e^{-s_1 x} + A_4 e^{-s_2 x}\} \text{sen}(k_y y) e^{i\omega t} \quad (15)$$

e as constantes  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , e  $A_4$  são determinadas pela aplicação das condições de contorno de bordas livres.

#### 2.4. Soluções para ondas no plano

As configurações de forças no plano estão ilustradas na Figura 3. As Equações 5 e 6 são as equações diferenciais do movimento no plano e são acopladas. Estas equações devem ser desacopladas de forma a obter as expressões para os componentes do número de onda na direção  $x$ . Isto é solucionado escrevendo-se as respostas  $u$  e  $v$  no plano em termos de funções potenciais para a deformação longitudinal e rotação cisalhante, representada por  $\phi_d$  e  $\psi_s$ , respectivamente, como segue:

$$u(x, y) = \frac{\partial \phi_d}{\partial x} + \frac{\partial \psi_s}{\partial y} \quad (16)$$

$$v(x, y) = \frac{\partial \phi_d}{\partial y} - \frac{\partial \psi_s}{\partial x} \quad (17)$$

e as funções potenciais são dadas por:

$$\phi_d = E(x) \sin \frac{n \pi y}{b} \quad (18)$$

$$\psi_s = T(x) \cos \frac{n \pi y}{b} \quad (19)$$

As equações diferenciais desacopladas ficam:

$$\nabla^2 (\nabla^2 + k_1^2) \phi_d = 0 \quad (20)$$

$$\nabla^2 (\nabla^2 + k_s^2) \psi_s = 0 \quad (21)$$

em que os números de onda são dados por:

$$k_1 = \frac{\omega}{c_1} \quad (22)$$

$$k_s = \frac{\omega}{c_s} \quad (23)$$

e  $C_l$  e  $C_s$  são as velocidades de onda longitudinal e ondas cisalhantes transversais, respectivamente.

As funções  $E(x)$  e  $T(x)$  podem ser escritas como a soma de duas ondas se propagando em sentidos opostos, uma no sentido positivo de  $x$  e outra em  $x$  negativo:

$$E(x) = A_1 e^{k_1 x} + B_1 e^{-k_1 x} \quad (24)$$

$$T(x) = A_2 e^{k_2 x} + B_2 e^{-k_2 x} \quad (25)$$

onde os números de onda são dados por:

$$k_1^2 = k_y^2 - k_1^2 \quad (26)$$

$$k_2^2 = k_y^2 - k_s^2 \quad (27)$$

$$k_y = \frac{n \pi}{b} \quad (28)$$

Após a substituição de 18 e 19 nas Equações 16 e 17, obtém-se as equações desacopladas que descrevem o movimento no plano:

$$u(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_1 A_1 e^{k_1 x} - k_1 B_1 e^{-k_1 x} - k_y A_2 e^{k_2 x} - k_y B_2 e^{-k_2 x}\} \text{sen}(k_y y) e^{j\omega t} \quad (29)$$

$$v(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_y A_1 e^{k_1 x} + k_y B_1 e^{-k_1 x} - k_2 A_2 e^{k_2 x} + k_2 B_2 e^{-k_2 x}\} \text{cos}(k_y y) e^{j\omega t} \quad (30)$$

onde  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $A_2$ , e  $B_2$  são constantes a serem determinadas.

As condições de contorno podem ser aplicadas utilizando-se as Equações 29 e 30 para os deslocamentos e as Equações (2), (3) e (4) para os esforços aplicados nas bordas.

## 2.5. Modelo de duas placas acopladas em L

Considere duas placas acopladas em L, conforme a Figura 2.5. A placa 1 pode ser submetida a quatro tipos de carregamentos distribuídos em sua borda  $M_x(y)$ ,  $N_x(y)$ ,  $M_{xy}(y)$ , e  $Q_x(y)$ .

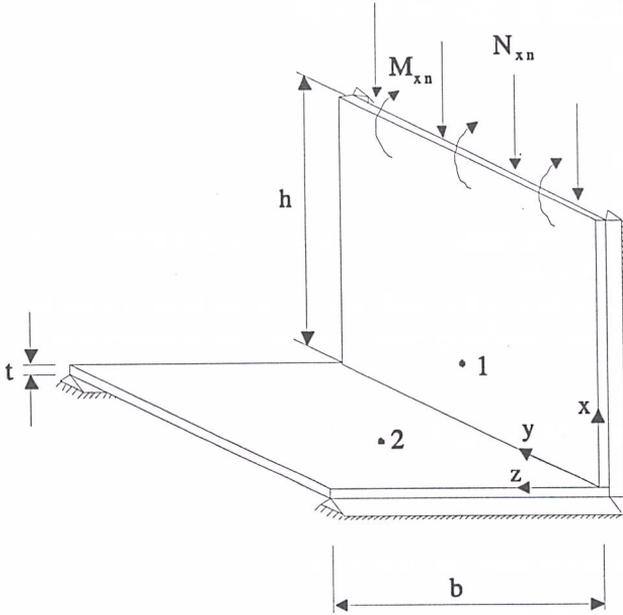


FIGURA 4 – Esquema de duas placas acopladas em L.

As funções que descrevem as respostas no plano e o deslocamento transversal, para as placas 1 e 2 indicadas, em função da  $n$ -ésima componente modal, que representa uma distribuição tipo senoidal dos modos na direção longitudinal da viga, podem ser escritas como:

$$u_{1n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_1 A e^{k_1 x} - k_1 B e^{-k_1 x} - k_y C e^{k_2 x} - k_y D e^{-k_2 x}\} \text{sen}(k_y y) e^{j\omega t} \quad (31)$$

$$v_{1n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_y A e^{k_1 x} + k_y B e^{-k_1 x} - k_2 C e^{k_2 x} + k_2 D e^{-k_2 x}\} \cos(k_y y) e^{j\omega t} \quad (32)$$

$$w_{1n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{A_1 e^{s_1 x} + A_2 e^{s_2 x} + A_3 e^{-s_1 x} + A_4 e^{-s_2 x}\} \text{sen}(k_y y) e^{j\omega t} \quad (33)$$

$$u_{2n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_1 F e^{k_1 z} - k_1 G e^{-k_1 z} - k_y H e^{k_2 z} - k_y I e^{-k_2 z}\} \text{sen}(k_y y) e^{j\omega t} \quad (34)$$

$$v_{2n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{k_y F e^{k_1 z} + k_y G e^{-k_1 z} - k_2 H e^{k_2 z} + k_2 I e^{-k_2 z}\} \cos(k_y y) e^{j\omega t} \quad (35)$$

$$w_{2n}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \{A_5 e^{s_1 z} + A_6 e^{s_2 z} + A_7 e^{-s_1 z} + A_8 e^{-s_2 z}\} \sin(k_y y) e^{j\omega t} \quad (36)$$

Observa-se na Figura (5) o equilíbrio de forças e as condições de continuidade que devem existir na união das placas, bem como as condições de contorno nas bordas exteriores, sendo uma borda submetida a carregamento e a outra borda livre. No total, têm-se dezesseis equações e o mesmo número de constantes a serem determinadas.

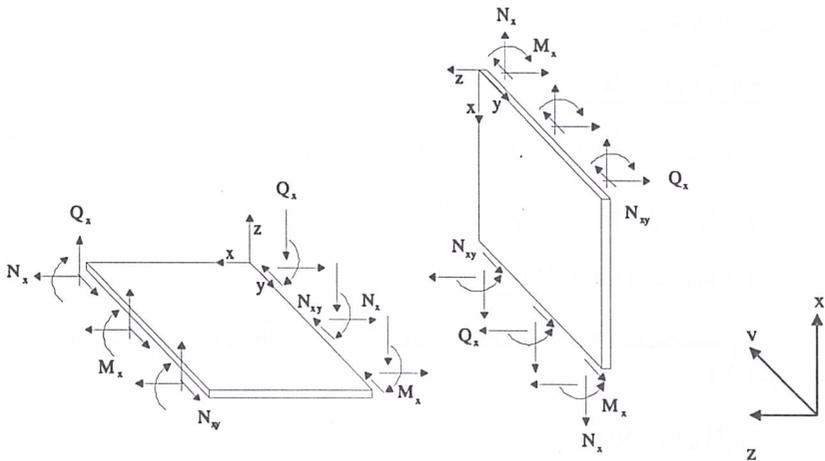


FIGURA 5 – Continuidade de esforços na união entre as placas.

Os carregamentos distribuídos na borda da placa 1 são escritos em função da n-ésima componente modal como:

$$N_{xn} = \frac{2}{b} \int_0^b N_x(y) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) dy \quad (37)$$

$$M_{xn} = \frac{2}{b} \int_0^b M_x(y) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) dy \quad (38)$$

$$N_{xyn} = \frac{2}{b} \int_0^b N_{xy}(y) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) dy \quad (39)$$

$$Q_{xn} = \frac{2}{b} \int_0^b Q_x(y) \sin\left(\frac{n\pi}{b} y\right) dy \quad (40)$$

As condições de continuidade na união das placas podem ser escritas da seguinte forma:

$$\text{a) } u_1(x = Lx_1) = -w_2(z = 0) \quad (41)$$

$$\text{b) } v_1(x = Lx_1) = v_2(z = 0) \quad (42)$$

$$\text{c) } w_1(x = Lx_1) = u_2(z = 0) \quad (43)$$

$$\text{d) } \theta_1(x = Lx_1) = \theta_2(z = 0) \quad (44)$$

Quatro equações podem ser escritas da condição de equilíbrio de esforços na união:

$$\text{e) } Q_{1x}(x = Lx_1) = N_{2x}(z = 0) \quad (45)$$

$$\text{f) } N_{1x}(x = Lx_1) = -Q_{2x}(z = 0) \quad (46)$$

$$\text{g) } N_{1xy}(x = Lx_1) = N_{2xy}(z = 0) \quad (47)$$

$$\text{h) } M_{1x}(x = Lx_1) = M_{2x}(z = 0) \quad (48)$$

As condições de contorno relacionadas às forças aplicadas na borda da placa 1 são:

$$\text{i) } N_{1x}(x = 0) = N_n \quad (49)$$

$$\text{j) } N_{1xy}(x = 0) = S_n \quad (50)$$

$$\text{k) } M_{1x}(x = 0) = M_n \quad (51)$$

$$\text{l) } Q_{1x}(x = 0) = Q_n \quad (52)$$

E para a borda livre na placa 2, as condições de contorno são:

$$\text{m) } N_{2x}(z = L_z) = 0 \quad (53)$$

$$\text{n) } N_{2xy}(z = L_z) = 0 \quad (54)$$

$$\text{o) } M_{2x}(z = L_z) = 0 \quad (55)$$

$$\text{p) } Q_{2x}(z = L_z) = 0 \quad (56)$$

Dessa forma, tem-se um sistema de equações cuja solução fornece as 16 constantes ( $A_1$  a  $A_8$  e  $A$  a  $I$ ), para cada frequência. Após determinadas as constantes, pode-se calcular as respostas em qualquer ponto das placas, através das Equações (31) a (36), e obter as respostas desejadas. Os termos da matriz  $T$  representam os coeficientes das equações e o vetor  $P$  é o vetor de carga.

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \Lambda & \Lambda & T_{116} \\ T_{21} & 0 & T_{23} & T_{24} & M \\ M & T_{32} & 0 & T_{34} & M \\ M & T_{42} & T_{43} & 0 & M \\ T_{161} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & T_{1616} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A \\ M \\ I \\ A_1 \\ M \\ A_8 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ M \\ P_8 \\ P_9 \\ M \\ P_{16} \end{Bmatrix} \quad (57)$$

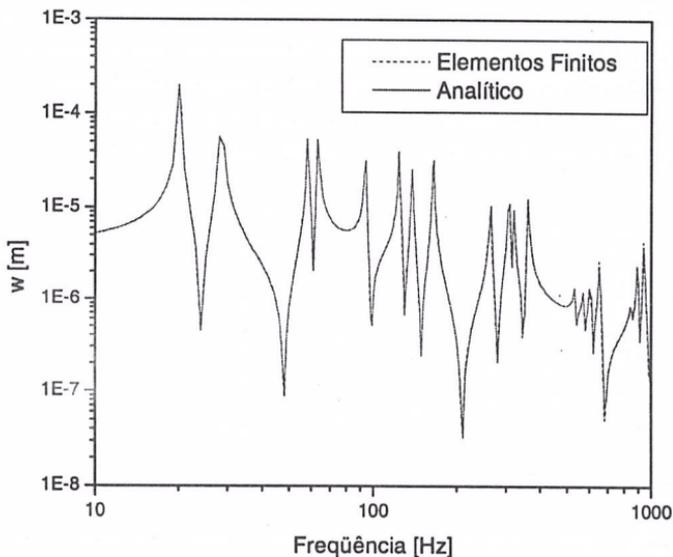
### 3. Exemplo

A seguir, tem-se um exemplo do modelo analítico para a resposta em frequência de duas placas acopladas em L. As duas placas têm espessura de 5 mm, 1 m de largura e 0,5 m de comprimento. O material utilizado é aço, cujas propriedades são: módulo de elasticidade  $E = 210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ , densidade  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$  e coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$ . O fator de perda estrutural considerado tem valor.

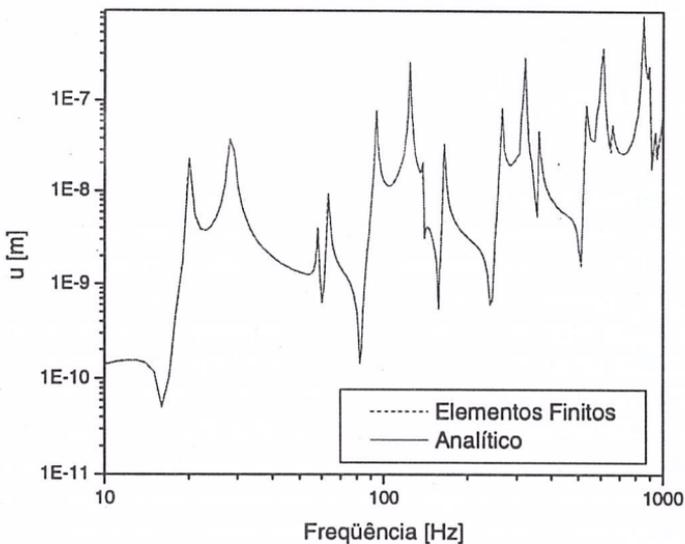
Aplicou-se uma carga distribuída na borda dada por:

$$M_x = M_n \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi}{L} y\right) \quad (58)$$

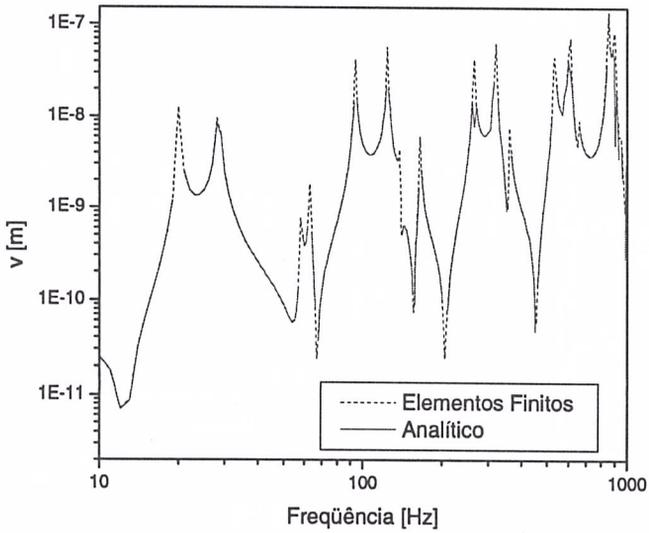
com  $n$  variando de 1 até 2. Dessa forma, o carregamento é dado pela soma de duas componentes senoidais. As amplitudes dos carregamentos considerados são  $M_1 = M_2 = 1$ . A resposta da placa foi calculada em dois pontos, mostrados na Figura 4 (ponto 1 -  $x = 0,2$ ,  $y = 0,15$  e  $z = 0$  e ponto 2 -  $x = 0$ ,  $y = 0,15$  e  $z = 0,325$ ). Nas Figuras 6 a 11, tem-se a comparação entre as respostas obtidas pelo modelo analítico, desenvolvido no "software" Mathematica, e por um modelo de Elementos Finitos até a frequência de 1000 Hz. A solução por Elementos Finitos utilizou o *software* comercial ANSYS 5.3, versão universitária. Utilizou-se o método "full" para a análise harmônica por ser mais preciso, embora proporcione um tempo de processamento maior que o método da superposição modal. O elemento de placa inicialmente utilizado foi o SHELL 63, da biblioteca do ANSYS, que possui quatro nós e seis graus de liberdade por nó.



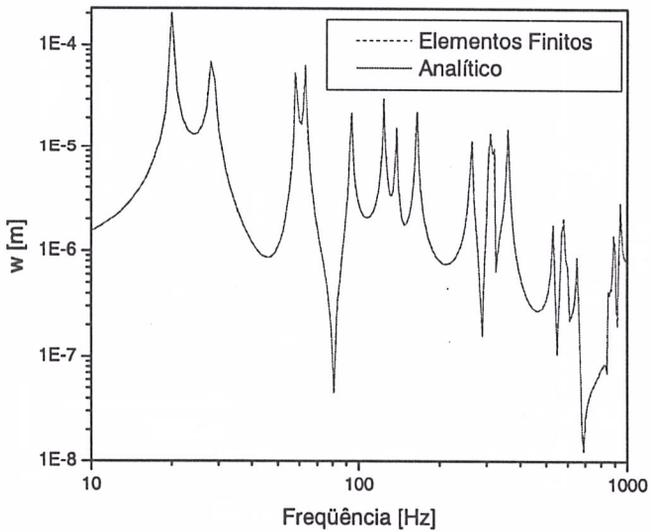
*FIGURA 6 – Deslocamento  $w$  transversal na placa 1. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*



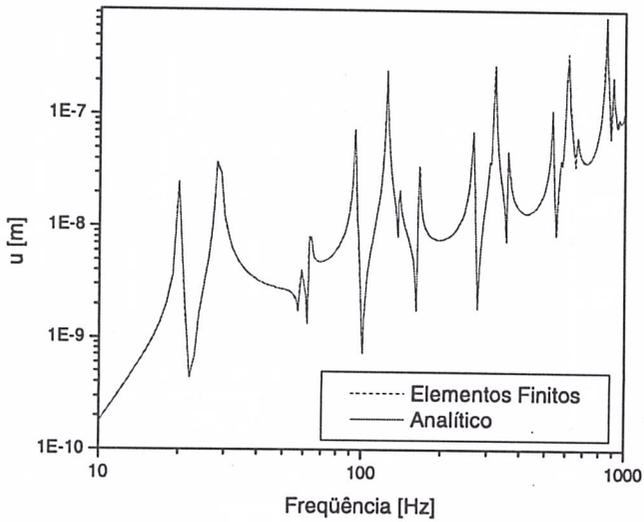
*FIGURA 7 – Deslocamento  $u$  no plano na placa 1. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*



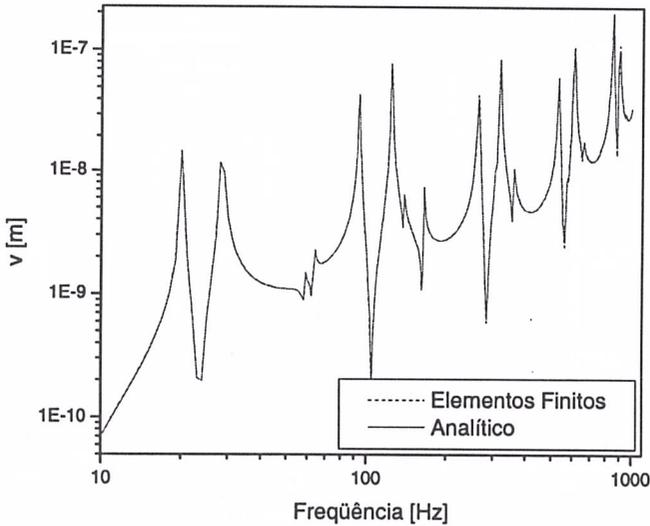
*FIGURA 8 – Deslocamento  $v$  no plano na placa 1. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*



*FIGURA 9 – Deslocamento  $w$  transversal na placa 2. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*



*FIGURA 10 – Deslocamento  $u$  no plano na placa 2. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*



*FIGURA 11 – Deslocamento  $v$  no plano na placa 1. Comparação entre o modelo analítico e o Método dos Elementos Finitos para  $n$  variando de 1 a 2.*

#### 4. Conclusões

O modelo de vibrações de placas acopladas em L representa, com boa precisão, o comportamento dinâmico de vigas conforme tipicamente usadas em estruturas offshore. As vibrações e, conseqüentemente, os modos próprios que se formam na aba e nas abas são considerados por este modelo. Vigas do tipo T podem também ser modeladas por este procedimento, formando, entretanto, um sistema de 24 equações, com 24 constantes a serem determinadas. A solução envolve pequenos tempos de computação, mesmo para frequências mais altas, para as quais a ordem  $n$  deve ser aumentada. Este modelo pode ser acoplado a outros modelos de placas reforçadas, simulando, desta forma, os efeitos que são exercidos por estas vigas.

#### 5. Referências Bibliográficas

BERCIN, A. N. "An assessment of the effects of in-plane vibrations on the energy flow between coupled plates", *Journal of Sound and Vibration*, 1996, 191(5), pp. 661-680.

BONIFÁCIO, P. R. O. **Fluxo de Energia Vibratória entre Placas Planas pelo Método da Mobilidade**, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1998.

CUSCHIERI, J.M. "In-Plane and out-of-plane waves power transmission through an L-plate junction using the mobility power flow approach", *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(1), 1996, pp. 857 - 870.

GRAFF, K.F. **Wave Motion in Elastic Solids**, Dover Publications, New York, 1991.

HWANG, C., Pi, W.S. "Investigation of vibrational energy transfer in connected structures", NASA-CR-124450, Relatório Técnico, 1972.

LEISSA, A.W. **Vibration of Plates**, Ohio State University, Columbus, Ohio, NASA SP - 160, 1969.

LYON, R. H. **Statistical Energy Analysis of Dynamical Systems**, MIT Press, Massachusetts, 1975.

SARDÁ, A. A. P. **Análise por Elementos Finitos do Fluxo de Energia Vibratória entre Placas Planas Apoiadas em Vigas**, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1999.

SARDÁ, A. A. P. **Modelos de Vibrações para Placas Reforçadas Utilizadas em Plataformas Offshore**, Tese de Doutorado, UFSC, 2004.

#### 6. Nota de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.