

## ANÁLISE DE CONFORTO HUMANO SOBRE MODELOS ESTRUTURAIS DE PASSARELAS MISTAS (AÇO-CONCRETO)

Gilvan L. Debona<sup>a</sup>, José E. V. Zúñiga<sup>b</sup> e José G. S. da Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Aluno de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, gilvanld@yahoo.com.br, zuniga@concremat.com.br*

<sup>b</sup>*Departamento de Estruturas e Fundações, ESTR, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, jgss@uerj.br*

**Palavras-chave:** Passarelas de Pedestres, Dinâmica Estrutural, Conforto Humano.

**Resumo.** Este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal proceder a uma análise de conforto humano sobre passarelas de pedestres em aço e mistas (aço-concreto). A metodologia de análise é respaldada pelo emprego de um modelo de carregamento mais realista, desenvolvido de forma a incorporar os efeitos dinâmicos induzidos pelo caminhar das pessoas, objetivando a análise dinâmica das passarelas. Neste modelo de carregamento, o movimento de pernas que causa a subida e descida da massa efetiva do corpo em cada passo foi considerado e a posição do carregamento dinâmico foi alterada de acordo com a posição do indivíduo. Assim sendo, a função de tempo representativa da excitação dinâmica oriunda do caminhar das pessoas apresenta uma descrição espacial e temporal. O modelo estrutural investigado corresponde a uma estrutura real, existente, associada a uma passarela mista (aço-concreto) com 57 m de extensão. O sistema estrutural é do tipo contínuo com três vãos. Para a modelagem do sistema são empregadas técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos (MEF), por meio do programa ANSYS. Com base na metodologia de análise desenvolvida, a resposta dinâmica da passarela, em termos das acelerações de pico, é obtida e comparada com os valores limites propostos por normas e recomendações de projeto a fim de promover uma avaliação mais realista no que tange ao problema de vibrações oriundo do caminhar dos pedestres sobre este tipo de estrutura.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente têm sido projetadas passarelas cada vez mais leves devido a um avanço tecnológico considerável alcançado em áreas de pesquisa associadas à engenharia civil. Por outro lado, este procedimento tem gerado sistemas estruturais com grandes vãos livres, portanto bastante esbeltos e, conseqüentemente, alterando os estados limites últimos e de utilização que norteiam o seu dimensionamento.

Uma conseqüência direta desta nova tendência de projeto diz respeito a um aumento considerável dos problemas associados à vibração deste tipo de sistema estrutural (Bachmann e Ammann, 1987; Ellis, 2000; Figueiredo, 2005; Lima, 2007; Murray et al., 2003; Pimentel et al., 2001). No caso particular das passarelas este fenômeno ocorre quando a frequência fundamental da estrutura é igual ou se aproxima da frequência do passo dos pedestres.

Dentro do escopo do problema faz-se necessário enfatizar que a geometria do corpo humano caminhando está associada a um movimento de pernas organizado que consiste na subida e descida da massa efetiva do corpo em cada passo. No que tange a aceleração da massa do corpo humano esta se encontra relacionada diretamente com a reação do piso, e é aproximadamente periódica na frequência do pedestre.

Assim sendo, considerando-se todos os aspectos mencionados anteriormente, este estudo foi desenvolvido com base no emprego de um modelo matemático que incorpora as ações dinâmicas provenientes do impacto transiente do calcanhar humano. Neste modelo de carregamento, o movimento de pernas que causa a subida e descida da massa efetiva do corpo em cada passo foi considerado e a posição do carregamento dinâmico foi alterada de acordo com a posição do indivíduo. Deste modo, a função de tempo, correspondente a excitação induzida pela caminhada dos pedestres sobre a passarela, incorpora uma variação espacial e temporal.

O modelo estrutural investigado corresponde a uma estrutura real, existente, associada a uma passarela mista (aço-concreto) com 57 m de extensão, dividida em três vãos contínuos. O sistema estrutural é do tipo contínuo com três vãos e localiza-se sobre a Avenida Brasil na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Com base na metodologia de análise desenvolvida, a resposta dinâmica do modelo estrutural em estudo (frequências naturais, deslocamentos e acelerações de pico) é obtida, e comparada com os valores limites propostos por inúmeras normas e recomendações de projeto (ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003), objetivando promover uma avaliação mais realista no que tange ao problema de vibrações oriundo do caminhar dos pedestres sobre este tipo de estrutura.

Finalmente, com base nos resultados alcançados ao longo deste trabalho de pesquisa, pretende-se alertar os projetistas desse tipo de estrutura para os valores elevados de acelerações encontrados, o que pode representar um forte indício de que os critérios de projeto utilizados atualmente merecem ser revistos.

## 2 MODELO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

A presente análise baseia-se em um modelo mais realista para representar a excitação dinâmica proveniente do pedestre, de forma a incorporar o impacto transiente do calcanhar humano devido ao caminhar. Neste modelo de carregamento, o movimento de pernas que causa a subida e descida da massa efetiva do corpo em cada passo foi considerado e a posição da carga dinâmica foi alterada de acordo com a posição do pedestre, assim a função de tempo, correspondente a excitação dinâmica induzida pela caminhada, possui uma variação espacial e temporal.

No presente modelo, o movimento organizado de pernas que causa a subida e descida da massa efetiva do corpo humano em cada passada foi considerado. O modelo tem a intenção de representar de modo mais realista os passos dados em uma caminhada. Contudo, é necessário estudar outros parâmetros neste tipo de modelagem numérica, tais como: a distância e a velocidade do passo. Esses parâmetros estão associados com a frequência do passo humano e são ilustrados pela Tabela 1.

Atividade	Velocidade (m/s)	Distância do Passo (m)	Frequência do Passo
Caminhada lenta	1,1	0,6	1,7
Caminhada normal	1,5	0,75	2,0
Caminhada rápida	2,2	1,0	2,3

Tabela 1: Características do caminhar humano (Bachmann e Ammann, 1987).

O modelo matemático adotado no presente estudo foi proposto a partir de uma aproximação matemática respaldada por estudos experimentais que permitiram registrar a reação total de um piso, gerada ao longo do tempo, durante uma caminhada sobre plataformas rígidas (Ohlsson, 1982; Varela, 2004), de acordo com a Figura 1.

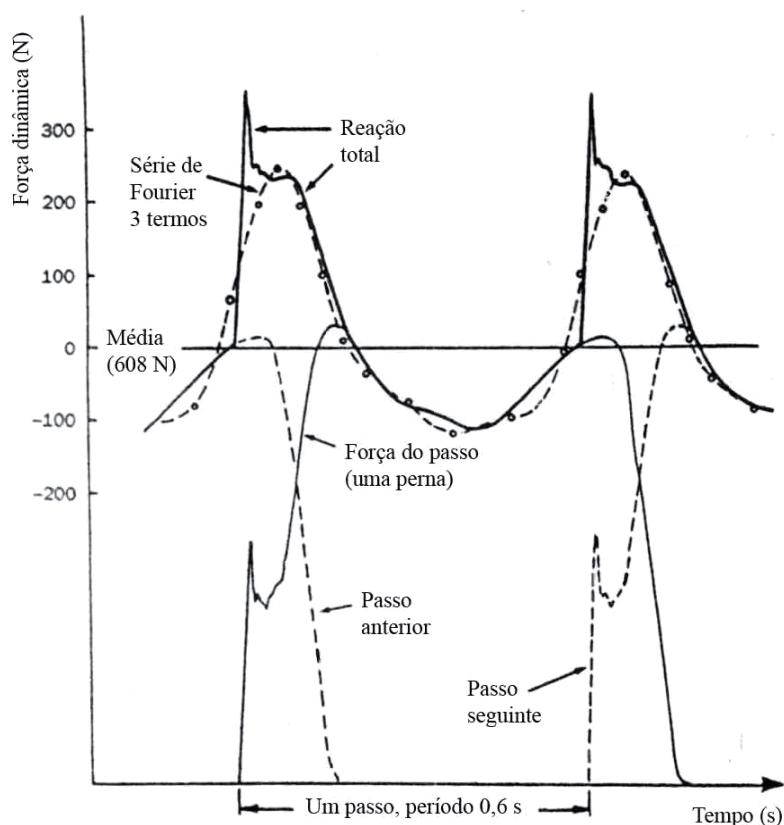


Figura 1: Força de contato de um passo e reação do piso (Varela, 2004).

Assim sendo, a carga dinâmica associada ao caminhar humano, considerando-se a incorporação do efeito do impacto do calcanhar, é obtida a partir das Equações (1) a (4) (Varela, 2004). A função matemática proposta, Equações (1) a (4), utilizada para representar a carga dinâmica produzida por uma pessoa caminhando sobre um piso, não é simulada simplesmente por uma série de Fourier, pois a equação também incorpora em sua formulação o pico transiente representativo do impacto do calcanhar sobre o piso.

$$F(t) = \begin{cases} \left( \frac{f_{mi} F_m - P}{0,04 T_p} \right) t + P & \text{se } 0 \leq t < 0,04 T_p \\ f_{mi} F_m \left[ \frac{C_1 (t - 0,04 T_p)}{0,02 T_p} + 1 \right] & \text{se } 0,04 T_p \leq t < 0,06 T_p \\ F_m & \text{se } 0,06 T_p \leq t < 0,15 T_p \\ P + \sum_{i=1}^{nh} P \alpha \operatorname{sen} [2 \pi i f_c (t + 0,1 T_p) + \phi_i] & \text{se } 0,15 T_p \leq t < 0,90 T_p \\ 10(P - C_2) \left( \frac{t}{T_p} - 1 \right) + P & \text{se } 0,90 T_p \leq t < T_p \end{cases} \quad (1)$$

$$F_m = P \cdot \left( 1 + \sum_{i=1}^{nh} \alpha_i \right) \quad (2)$$

$$C_1 = \left( \frac{1}{f_{mi}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$C_2 = \begin{cases} P \cdot (1 - \alpha_2) & \text{se } nh = 3 \\ P \cdot (1 - \alpha_2 + \alpha_4) & \text{se } nh = 4 \end{cases} \quad (4)$$

Onde:

$F_m$  : valor máximo da série de Fourier, dado pela Eq. (2);

$f_{mi}$  : fator de majoração do impacto do calcanhar, ( $f_{mi} = 1,12$ ), (Varela, 2004);

$T_p$  : período do passo;

$C_1$  : coeficiente dado pela Eq. (3);

$C_2$  : coeficiente dado pela Eq. (4).

Na presente investigação, são utilizadas as Eqs. (1) a (4) para obtenção da excitação dinâmica, proveniente dos seres humanos caminhando sobre os pisos; e adota-se, ainda, para o fator de amplificação do impacto do calcanhar humano o valor de 1,12 ( $f_{mi} = 1,12$ ), (Varela, 2004). Todavia, faz-se necessário enfatizar que este valor de 1,12 varia de pessoa para pessoa fato que motiva que o referido coeficiente mereça um estudo mais aprofundado.

Assim sendo, sabendo-se que a frequência fundamental da passarela investigada é igual a 4,08 Hz ( $f_{01} = 4,08$  Hz) e considerando-se, ainda, a metodologia de análise proposta neste trabalho de pesquisa, utiliza-se uma frequência do passo igual a 2 Hz ( $f_p = 2$  Hz), Tabela 1, correspondente à caminhada normal, de forma a induzir a estrutura o mais próximo possível da ressonância ( $2 \times 2$  Hz = 4 Hz).

Nesta situação, a malha de elementos finitos precisa ser refinada suficientemente e o tempo de contato da aplicação da carga dinâmica com a estrutura depende da distância e da frequência do passo. Assim sendo, a distância do passo associada à frequência de 2 Hz é igual a 0,75 m, Tabela 1. Na seqüência, a carga dinâmica associada ao caminhar do pedestre sobre a passarela, ao longo do tempo, é obtida mediante o emprego de quatro harmônicos, Tabela 2, utilizados para gerar a função de carregamento.

Harmônico i	Frequência do Passo ( $f_p$ ) (Hz)	Coefficiente Dinâmico ( $\alpha_i$ )	Ângulo de Fase ( $\Phi_i$ )
1	1,6 - 2,2	0,5	0
2	3,2 - 4,4	0,2	$\pi/2$
3	4,8 - 6,6	0,1	$\pi$
4	6,4 - 8,8	0,05	$3\pi/2$

Tabela 2: Frequências do passo e coeficientes dinâmicos para os harmônicos da excitação.

O período do passo é igual a  $1/f_p = 1/2 \text{ Hz} = 0,50 \text{ s}$ , correspondente a uma distância de 0,75 m. Portanto, adotando-se uma malha com elementos finitos com comprimento de 0,25 m, por exemplo, para representar um passo do pedestre sobre a passarela seriam necessárias três cargas. Cada uma dessas cargas P1, P2 e P3 seriam aplicadas durante  $0,50/3 = 0,1667 \text{ s}$ , conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3.

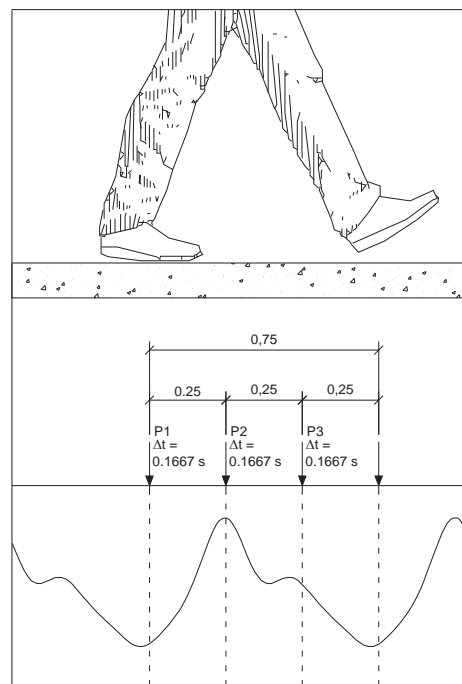


Figura 2: Representação do passo do pedestre durante a caminhada sobre a passarela.

Destaca-se que a ação dinâmica não seria aplicada simultaneamente. A carga P1 seria aplicada durante 0,1667 s, e no fim desse período de tempo, P1 passaria a assumir um valor nulo e, logo em seguida, a carga P2 seria aplicada por 0,1667 s. Este processo ocorreria sucessivamente, ao longo do tempo, e a força dinâmica associada ao caminhar do pedestre seria aplicada, de forma correta, ao longo de toda a passarela, de acordo com a Figura 3.

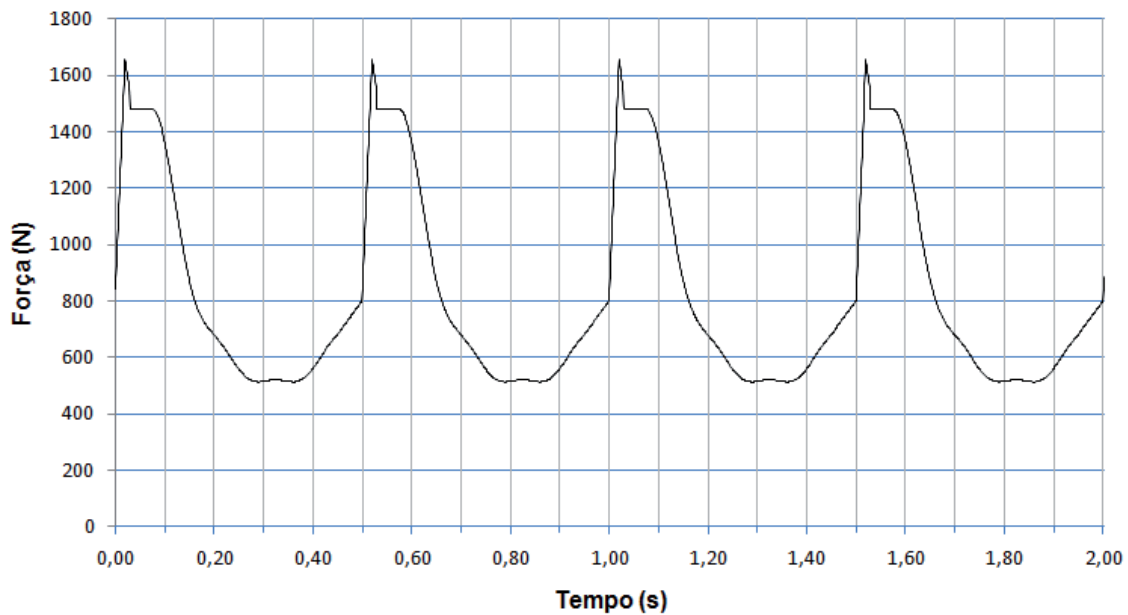


Figura 3: Função de carregamento dinâmico para uma caminhada com  $f_p = 2$  Hz.

### 3 MODELO ESTRUTURAL

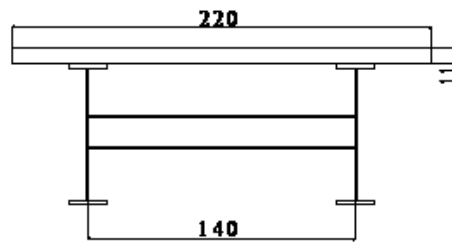
O modelo estrutural investigado corresponde a uma estrutura real, existente, associada a uma passarela mista (aço-concreto) com 57 m de extensão, dividida em três vãos contínuos. O sistema estrutural é do tipo contínuo com três vãos e localiza-se sobre a Avenida Brasil na cidade do Rio de Janeiro/RJ, Brasil. O sistema estrutural da passarela é formado por uma laje de concreto com espessura de 0,11 m ( $h = 11$  cm), apoiada sobre vigas em aço, Figuras 4 e 5.

O vão principal da passarela é constituído por uma seção mista (aço/concreto), composta por vigas de aço do tipo “I”, com inércia variável, e com dimensões que variam de 350 mm a 900 mm de altura, Figuras 4 e 5. A Tabela 3 apresenta todas as dimensões associadas à geometria dos perfis metálicos do tipo “I”, empregados nas vigas do modelo correspondente a passarela investigada.

Tipo do Perfil	d (mm)	h (mm)	$t_w$ (mm)	$t_f$ (mm)	$b_f$ (mm)
Vigas Principais: VS (Inércia Variável) (350 a 900)	350	325	12.5	12.5	350
	450	425	12.5	12.5	350
	500	475	12.5	12.5	350
	600	575	12.5	12.5	350
	650	580	12.5	12.5	350
	700	675	12.5	12.5	350
	800	775	12.5	12.5	350
	850	780	12.5	12.5	350
	900	875	12.5	12.5	350
Vigas Secundárias: VS 203 x 27,3	203	181	6.8	10.8	101

Tabela 3: Características geométricas dos perfis de aço das vigas do modelo estrutural analisado.

Com referência às características físicas do concreto, este possui uma resistência característica à compressão igual a 27 MPa ( $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$ ), módulo de elasticidade longitudinal igual a  $2,47 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  ( $E = 2,23 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ), coeficiente de Poisson igual a 0,2 ( $\nu = 0,2$ ) e densidade de  $2550 \text{ kg/m}^3$  ( $\rho = 2550 \text{ kg/m}^3$ ). No que diz respeito às características físicas do aço, este possui módulo de elasticidade longitudinal igual a  $2,05 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  ( $E = 2,05 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ), coeficiente de Poisson igual a 0,3 ( $\nu = 0,3$ ) e densidade de  $7850 \text{ kg/m}^3$  ( $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ).



a) Seção transversal típica do modelo (dimensões em cm).



b) Seção longitudinal da passarela (dimensões em cm).

Figura 4: Modelo estrutural investigado.

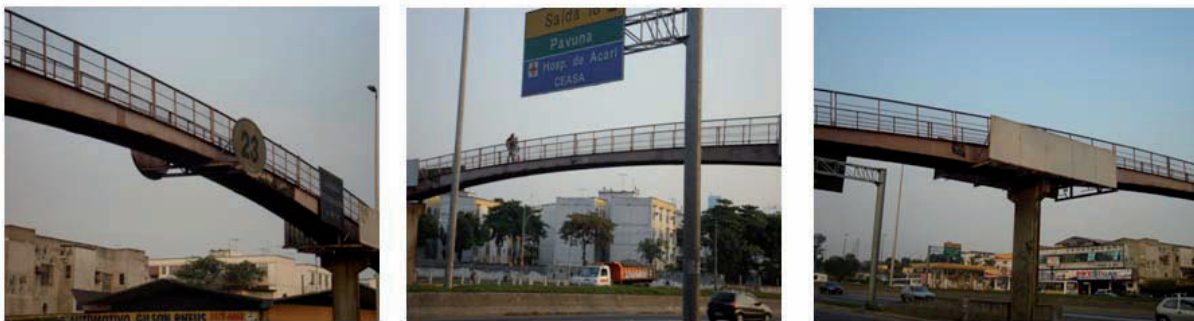


Figura 5: Fotos do sistema estrutural da passarela.

#### 4 MODELO COMPUTACIONAL

No modelo numérico-computacional desenvolvido para a análise dinâmica da passarela são empregadas técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos, por meio do emprego do programa ANSYS, ANSYS (2003). No presente modelo, as vigas são simuladas por elementos finitos tridimensionais (BEAM44), onde são considerados os efeitos de flexão e de torção. A laje de concreto é simulada por meio de elementos finitos de casca (SHELL63). A Figura 6 ilustra o modelo em elementos finitos desenvolvido para este estudo.

Considera-se, ainda, que o concreto trabalha no regime linear-elástico e que em ambos os elementos finitos as seções permanecem planas no estado deformado. São utilizadas, também, conexões rígidas do tipo “off-set”, de forma a se garantir a compatibilidade de deformações entre os nós dos elementos de casca e nós dos elementos de viga tridimensionais.

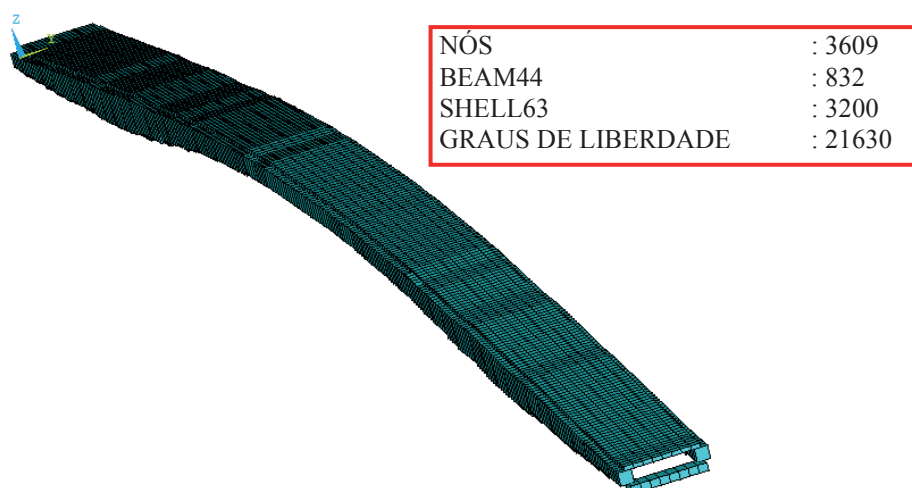


Figura 6: Modelo em elementos finitos desenvolvido para representação da passarela.

## 5 ANÁLISE DINÂMICA DA ESTRUTURA

A resposta dinâmica da passarela é determinada mediante a obtenção das frequências naturais, deslocamentos e acelerações máximas (acelerações de pico). Os resultados são obtidos através de uma análise numérica, com base no método dos elementos finitos, utilizando o programa ANSYS, ANSYS (2003).

Ressalta-se que as acelerações verticais máximas da passarela são calculadas e comparadas com os limites propostos por normas e recomendações de projeto (ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003). Tal comparação é feita objetivando verificar a ocorrência de níveis de vibrações indesejáveis e desconforto humano.

### 5.1 Análise das frequências naturais e dos modos de vibração

Com base nas simulações numéricas realizadas ao longo do estudo, são determinadas as frequências naturais da passarela, como mostrado na Tabela 4. Em seguida, a Figura 7 ilustra os modos de vibração correspondentes às seis primeiras frequências naturais do modelo estrutural.

Frequências Naturais da Passarela (Hz)					
$f_{01}$	$f_{02}$	$f_{03}$	$f_{04}$	$f_{05}$	$f_{06}$
4,08	7,36	9,17	11,60	12,28	14,33

Tabela 4: Frequências naturais da passarela.

De acordo com a Figura 7, percebe-se que o primeiro e segundo modos de vibração apresentam predominância dos efeitos de flexão. O terceiro modo de vibração da estrutura apresenta uma característica particular, pois associa-se a um modo de flexão lateral do modelo, com respeito ao vão central da passarela, o que indica, com clareza, que o presente sistema estrutural deve ser verificado, também, no que tange a ação de cargas dinâmicas horizontais. O quarto modo de vibração apresenta predominância dos efeitos de torção. Finalmente o quinto e sexto modos de vibração, novamente, são marcados pela influência dos efeitos de flexão.



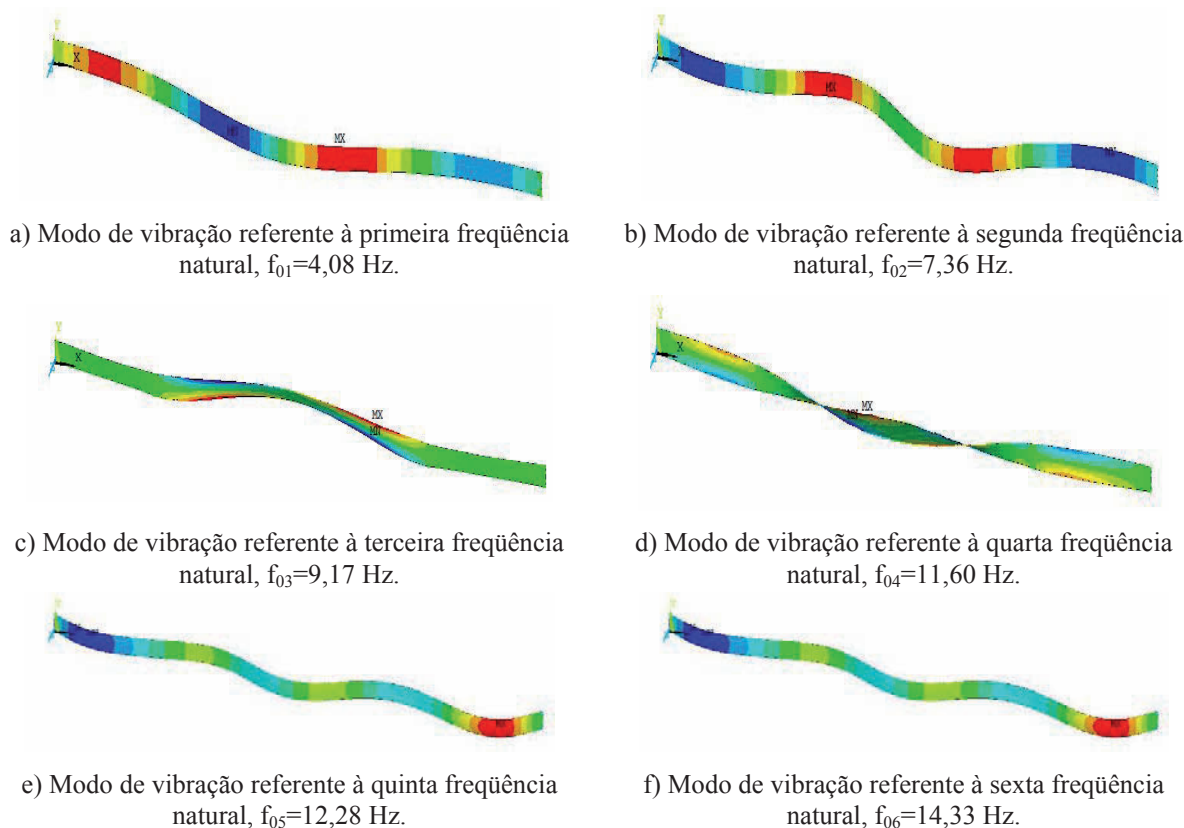


Figura 7: Modos de vibração da passarela.

## 5.2 Análise das acelerações máximas

Pretende-se verificar a adequabilidade da passarela quando submetida ao caminhar humano, no que tange ao desconforto relacionado a vibrações. Deste modo, o modelo de carregamento descrito anteriormente é aplicado como excitação dinâmica sobre a passarela de forma a determinar as acelerações de pico, Equações (1) a (4).

As acelerações máximas da passarela são comparadas com os valores limites propostos na literatura técnica (ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003). Ressalta-se, ainda, que no presente estudo foi considerado um coeficiente de amortecimento estrutural para o modelo igual a 1% ( $\xi=0,01$ ) (Murray et al., 2003). Considera-se, também, que o peso de uma pessoa é igual a 800N (Bachmann e Ammann, 1987). Na presente investigação foi analisado o caso de carregamento correspondente à travessia de um pedestre cruzando a estrutura de lado a lado, conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8: Planta baixa representativa do caso de carregamento investigado.

Na seqüência do texto, as Figuras 9 a 14 ilustram a resposta dinâmica da passarela investigada, em termos a variação dos deslocamentos translacionais verticais e acelerações, ao longo do tempo. Os pontos da estrutura analisados correspondem às seções do meio de cada vão da passarela (Nós: 803, 1517 e 2287). Estes pontos encontram-se devidamente indicados na Figura 4 (na cor vermelha). Em seguida, a Tabela 5 ilustra os valores numéricos das acelerações de pico encontradas, no que tange o modelo estrutural em estudo.

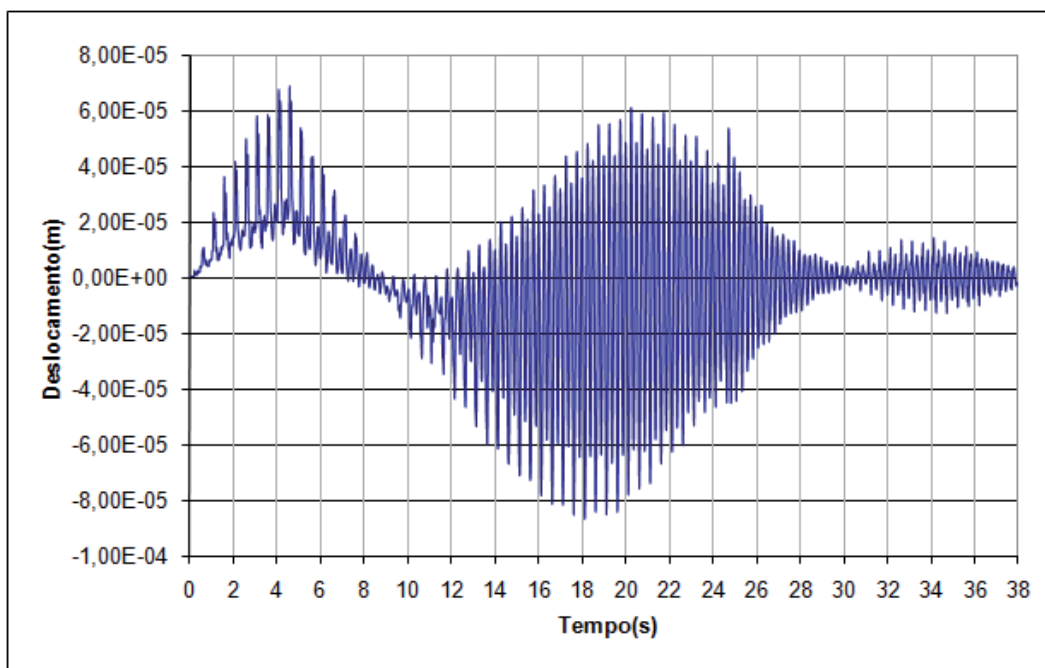


Figura 9: Deslocamento translacional vertical. Nó 803 (ver Figura 4).

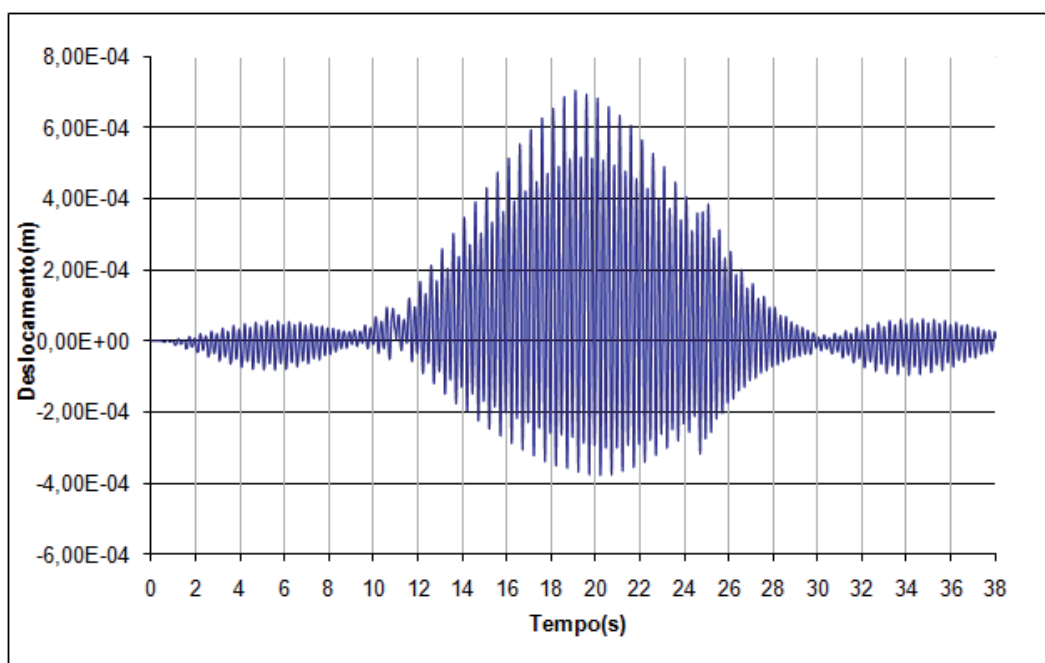


Figura 10: Deslocamento translacional vertical. Nó 1517 (ver Figura 4).

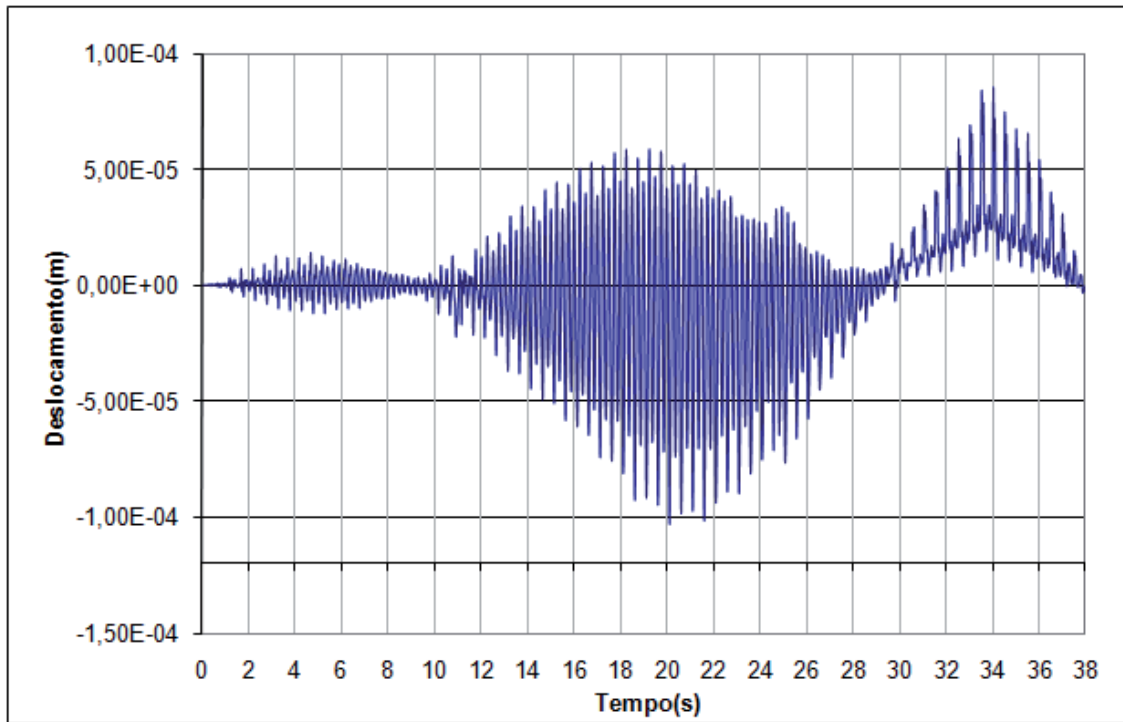


Figura 11: Deslocamento translacional Vertical. Nó 2287: (ver Figura 4).

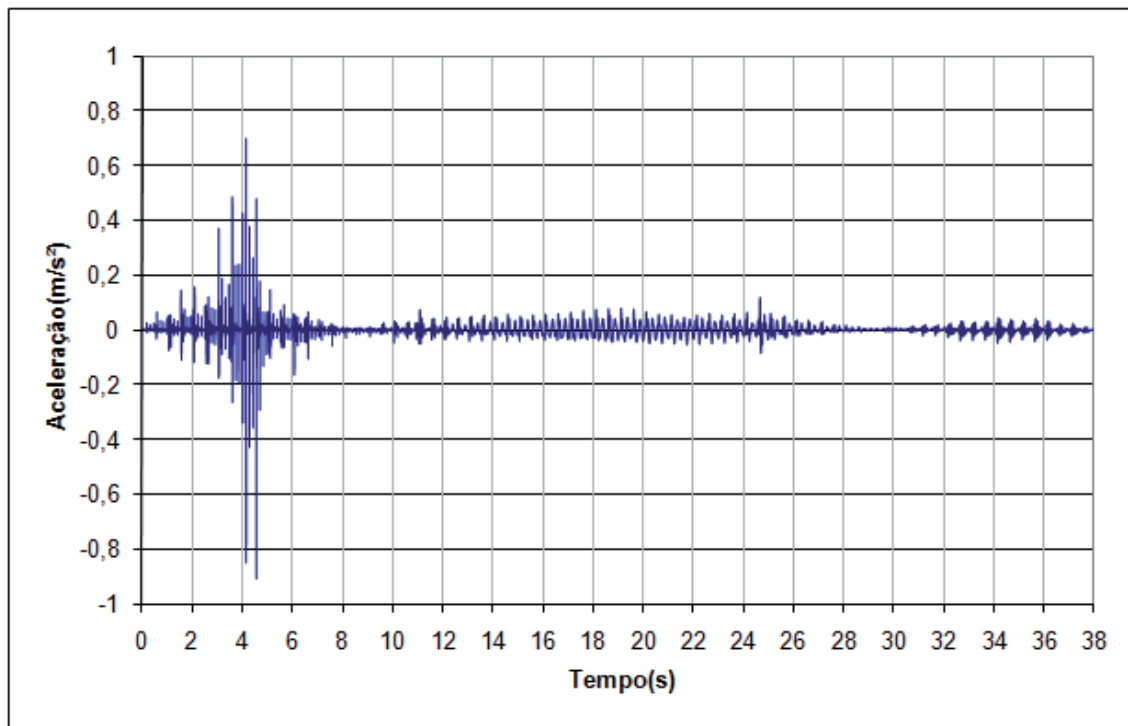


Figura 12: Aceleração. Nó 803 (ver Figura 4).

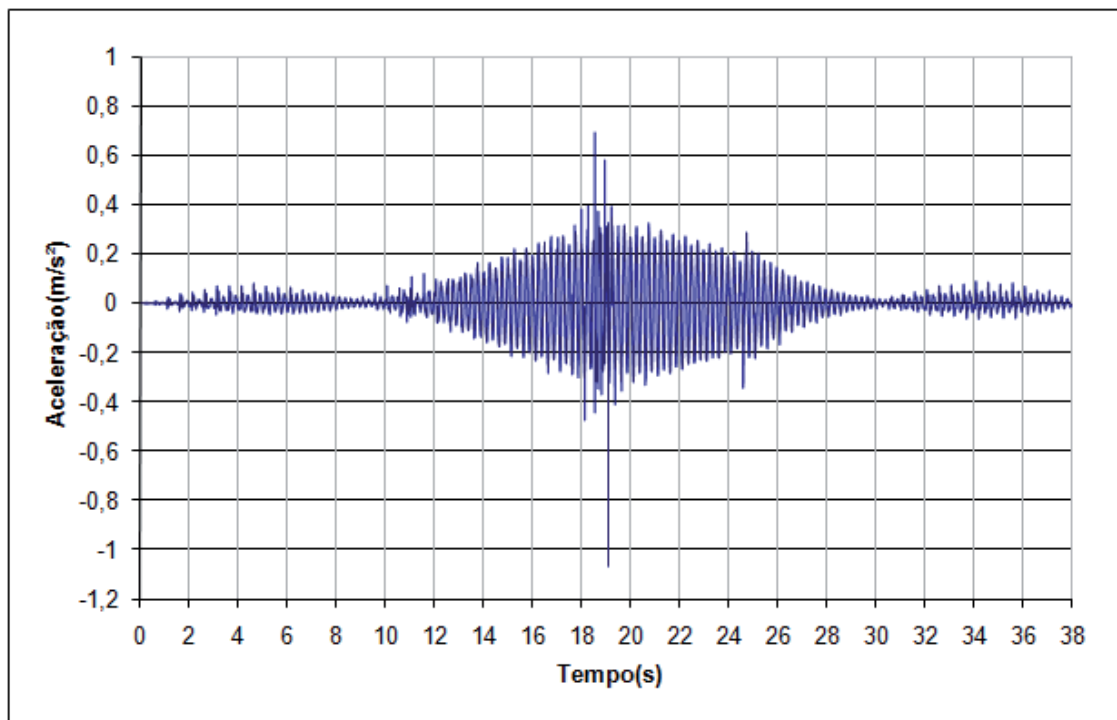


Figura 13: Aceleração. Nó 1517 (ver Figura 4).

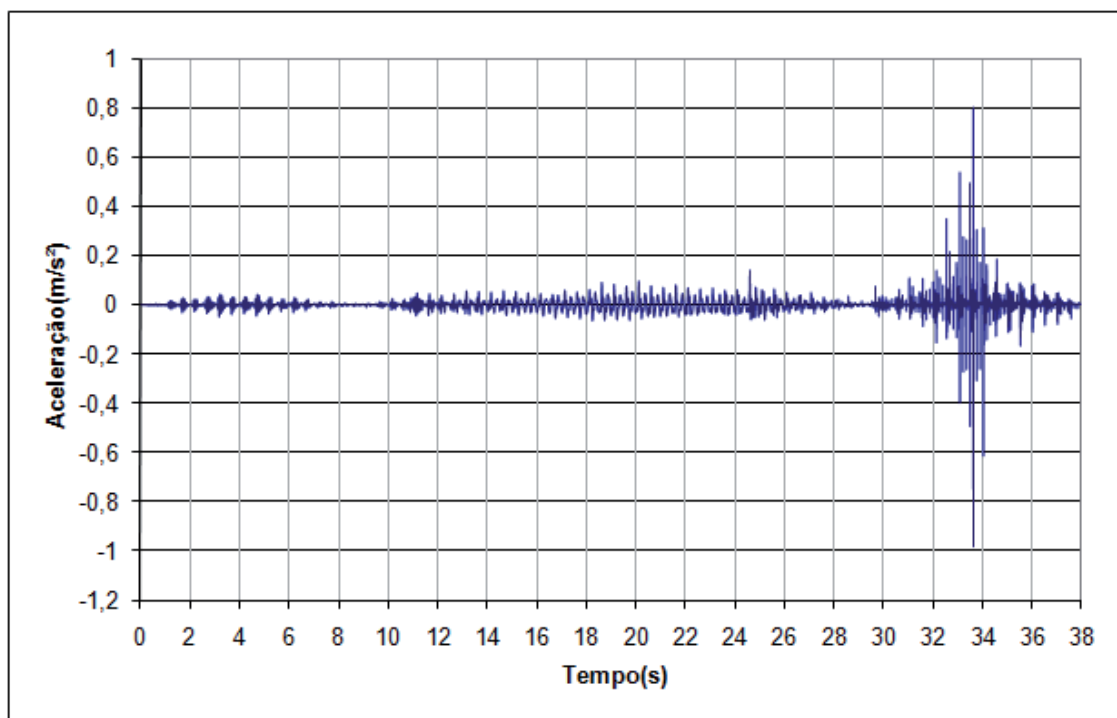


Figura 14 - Aceleração. Nó 2287 (ver Figura 4).

Nó	$a_p$ (m/s <sup>2</sup> )	Limite de Norma* $a_{lim} = 5\%g$ (m/s <sup>2</sup> )
803	0,90	0,49
1517	1,06	
2287	0,98	
*(ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003).		

Tabela 5 - Acelerações Máximas do Modelo Estrutural

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 9 a 14 e Tabela 5, verifica-se que, diante do caso de carga considerado na presente análise, a passarela investigada viola os critérios de conforto humano quando uma pessoa caminha sobre a laje de concreto ( $a_p > a_{lim}$ ) (ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003). Tal fato reforça a importância da consideração da ação dinâmica humana sobre passarelas de pedestres em aço e mistas (aço-concreto); e, bem como, de um estudo detalhado acerca da modelagem desta ação dinâmica proveniente dos pedestres.

Pode-se concluir, também, que os quatro harmônicos são importantes para a definição da carga, como também para a avaliação da resposta dinâmica das passarelas. De outra forma, os resultados aqui apresentados mostram que quando a posição da carga dinâmica, correspondente à excitação induzida pelo caminhar dos pedestres, é alterada de acordo com a posição do indivíduo, em conjunto com o efeito o impacto do calcanhar humano, há um aumento substancial na resposta dinâmica da estrutura, conforme ilustrado nas Figuras 9 a 14 e Tabela 5.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de pesquisa apresenta uma contribuição, no sentido de avaliar-se o comportamento estrutural das passarelas de pedestres submetidas ao caminhar humano. A metodologia de análise considera o estudo do comportamento dinâmico linear em regime de serviço de passarelas mistas (aço-concreto).

O modelo estrutural utilizado baseia-se em uma passarela mista (aço-concreto) com 57 m de extensão, dividida em três vãos contínuos. O modelo numérico-computacional foi desenvolvido com base no emprego de técnicas usuais do método dos elementos finitos, por meio da utilização do programa ANSYS (ANSYS, 2003). Desta forma, foi possível verificar e avaliar os níveis de vibração do modelo estrutural quando submetido ao caminhar dos pedestres.

A resposta dinâmica da passarela, em termos dos deslocamentos e acelerações, foi obtida e comparada com os limites propostos por diversas normas e recomendações de projeto (ISO 2631-2, 1989; Murray et al., 2003). Foi constatado que o modelo estrutural viola o limite de conforto humano ( $a_p = 1,06 \text{ m/s}^2 > a_{lim} = 0,49 \text{ m/s}^2$ ), quando submetido ao caminhar dos pedestres. Tal fato merece atenção por parte dos projetistas de estrutura de aço e mistas (aço-concreto), pois a consideração apropriada das ações dinâmicas atuantes sobre as passarelas e, bem como, a correta avaliação da resposta dinâmica deste tipo de estrutura se faz necessária.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho de pesquisa agradecem ao suporte financeiro fornecido pelas Agências de Fomento à Pesquisa do país: CAPES, CNPq e FAPERJ.

## REFERÊNCIAS

- ANSYS. Swanson Analysis Systems, Inc., P.O. Box 65, Johnson Road, Houston, PA, 15342-0065, Version 10.0, *Basic analysis procedures*, 2nd edition, 2003.
- Bachmann, H. e Ammann, W., *Vibrations in structures induced by man and machines*, Structural Engineering Document 3e, International Association for Bridges and Structural Engineering, 1987.
- Ellis, B.R., On the response of long-span floors to walking loads generated by individuals and crowds. *The Structural Engineer*, Vol. 78, 17-25, 2000.
- Figueiredo, F.P., *Estudo do comportamento dinâmico de passarelas devido ao caminhar de pedestres*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, 122 páginas, 2005.
- International Standard Organization / ISO 2631-2. *Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration*, Part 2: Human Exposure to Continuous and Shock-Induced Vibrations in Buildings (1 to 80Hz), International Standard, 1989.
- Lima, N.L. de A., *Efeito da modelagem do carregamento, do impacto do calcanhar humano e do amortecimento estrutural na resposta dinâmica de passarelas mistas*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, 138 páginas, 2007.
- Murray, T.M., Allen, D.E., Ungar, E.E., Floor vibrations due to human activity, Steel Design Guide Series, *American Institute of Steel Construction*, AISC, 70 pgs, 2003.
- Ohlsson, S.V., Floor Vibration and Human Discomfort, PhD Thesis, Department of Structural Engineering, *Chalmers University of Technology*, Gotemborg, Sweden, 1982.
- Pimentel, R.L., Pavic, A., Waldron, P., Evaluation of design requirements for footbridges excited by vertical forces from walking. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 28(5), 769-776, 2001.
- Varela, W.D., *Modelo teórico-experimental para análises de vibrações induzidas por pessoas caminhando sobre lajes de edifícios*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Depto. de Eng. Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 309 páginas, 2004.