

## INFLUÊNCIA DAS LIGAÇÕES ESTRUTURAIS SOBRE A RESPOSTA DINÂMICA DE PISOS MISTOS (AÇO-CONCRETO)

Elvis D. C. Lopes<sup>a</sup>, José G. S. da Silva<sup>b</sup> e Sebastião A. L. de Andrade<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, elvis\_lopes@hotmail.com, andrade@puc-rio.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:** Pisos mistos (aço-concreto), Dinâmica Estrutural, Estruturas de aço.

**Resumo.** O aumento dos problemas de vibrações excessivas em estruturas civis oriundos de atividades humanas rítmicas tem conduzido à necessidade de desenvolvimento de critérios específicos para projetos estruturais submetidos à ação de cargas dinâmicas. Esta foi uma das motivações para o desenvolvimento de uma metodologia de análise para investigação da resposta de sistemas estruturais submetidos a cargas provenientes de atividades humanas rítmicas, onde objetiva-se, principalmente, verificar a influência das ligações estruturais (ligações viga-coluna e ligações viga-viga), sobre a resposta dinâmica da estrutura. O carregamento dinâmico foi obtido através de testes experimentais com indivíduos praticando atividades rítmicas e não rítmicas. O sistema estrutural investigado consiste de um ambiente onde serão desenvolvidas atividades de ginástica aeróbica. O modelo estrutural corresponde a um piso misto (aço-concreto), composto por quatro vãos de 10m nas duas direções, perfazendo uma área total de 1600m<sup>2</sup>. O sistema em estudo é constituído por lajes de concreto armado apoiadas sobre vigas de aço. A metodologia de análise proposta adota técnicas usuais de discretização presentes no método dos elementos finitos, com base no emprego do programa ANSYS. A modelagem do sistema contempla ligações estruturais rígidas, semi-rígidas e flexíveis. Os valores das acelerações de pico foram comparados com os limites recomendados por normas de projeto, baseando-se em critérios de conforto humano. Os resultados indicam que para alguns casos de carregamento os limites sugeridos pelas normas de projeto, no que tange ao conforto humano, não foram satisfeitos, o que pode ser um indicativo de que os critérios de projeto precisam ser revistos por parte dos projetistas de estruturas de aço e mistas (aço-concreto).

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de um critério de projeto para excitações rítmicas tem se tornado relevante, mediante o surgimento corrente de problemas envolvendo vibrações em sistemas estruturais de pisos mistos (aço-concreto), especialmente aqueles que possuem frequências naturais próximas das faixas de frequência associadas às atividades humanas, tais como: caminhar, correr, pular e atividades aeróbicas. Estas vibrações resultam em desconforto para os usuários e, em casos menos comuns, até mesmo podem levar ao comprometimento da estrutura (Bachmann & Ammann, 1987; Chen, 1999; Faísca, 2003; Mello, 2005; Mello et al., 2005; Mello et al., 2007; Moreira, 2004; Murray et al., 2003; Ohlsson, 1982; Varela, 2004).

Sistemas estruturais de pisos inovadores têm sido elaborados e o conhecimento do seu comportamento deve ser então cuidadosamente assimilado quando da atuação de carregamentos dinâmicos nocivos ao conforto humano dos usuários e às partes constituintes da estrutura. Para tanto, diversos estudos nesta área de pesquisa vem sendo realizados sob os mais variados enfoques por diversos pesquisadores nos últimos anos (Bachmann & Ammann, 1987; Chen, 1999; Faísca, 2003; Mello, 2005; Mello et al., 2005; Mello et al., 2007; Mello et al., 2008; Moreira, 2004; Murray et al., 2003; Ohlsson, 1982; Varela, 2004).

De acordo com este contexto, este trabalho de pesquisa objetiva contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia de análise para o estudo do comportamento dinâmico de pisos mistos (aço-concreto), submetidos a ações dinâmicas humanas. Deste modo, a influência das ligações estruturais (viga-coluna e viga-viga), sobre a resposta dinâmica dos pisos será investigada, a partir do emprego de ligações rígidas, semi-rígidas e flexíveis.

A definição das ações dinâmicas atuantes sobre os modelos estruturais foi feita com base em resultados experimentais, os quais levam em conta os efeitos de multidão (Faísca, 2003). A análise fundamenta-se na modelagem computacional dos sistemas estruturais, através do Método dos Elementos Finitos (MEF). Para tal, são empregadas técnicas usuais de discretização, por meio do programa ANSYS (ANSYS, 2003)

A resposta dinâmica dos pisos contempla uma análise crítica acerca dos valores das acelerações máximas (acelerações de pico), considerando-se modelos estruturais rígidos, semi-rígidos e flexíveis. Os resultados obtidos, em termos das acelerações de pico, são confrontados e comparados com os limites propostos por recomendações internacionais (ISO 2631-2,1989; Murray et al., 2003), sob o ponto de vista do conforto humano, para diferentes tipos de ocupação. Os valores de aceleração de pico encontrados ao longo da análise indicam que os limites recomendados por normas de projeto (ISO 2631-2,1989; Murray et al., 2003) têm sido ultrapassados, na maioria dos casos investigados, no que concerne aos carregamentos dinâmicos referentes à ginástica aeróbica e saltos à vontade.

## 2 VIBRAÇÃO DE PISOS DEVIDO A ATIVIDADES HUMANAS

As vibrações induzidas por atividades humanas em pisos de edificações, tais como andar, saltar, dançar, ginástica aeróbica, dentre outras atividades físicas, têm sido consideradas na análise dinâmica de pisos de edificações de forma cada vez mais elaborada, pois a modelagem deste tipo de carregamento dinâmico é bastante complexa, devido às particularidades corporais de cada indivíduo e, em como, a maneira como realizam um determinado tipo de ação.

Um modelo de carregamento foi idealizado, objetivando a representação da ação dinâmica gerada por atividades humanas (ginástica aeróbica e saltos à vontade) sobre pisos de edificações. Deste modo, com base em resultados experimentais foi possível concluir que a função que melhor representa essas ações é a chamada função Hanning (Faísca, 2003).

## 2.1 Modelo de carregamento

O modelo de carregamento empregado neste trabalho foi desenvolvido para simular as excitações dinâmicas humanas rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade) e a função Hanning é empregada para descrever matematicamente este carregamento (Faísca 2003).

A representação matemática deste tipo de carregamento dinâmico é feita por meio da função Hanning, sendo dada pela Equação (1). Em seguida, a Figura 1 facilita o entendimento da função matemática adotada, pois esta ilustra os dois intervalos de tempo significativos da referida função. Ressalta-se que a força dinâmica normalizada (FDN) é representada na ordenada da Figura 1.

$$F(t) = CD \left\{ K_p P \left[ 0,5 - 0,5 \cos \left( \frac{2\pi}{T_c} t \right) \right] \right\} \quad \text{Para } t \leq T_c \quad (1)$$

$$F(t) = 0 \quad \text{Para } T_c \leq t \leq T$$

Onde:

- F(t) : representação matemática do carregamento no tempo em (N);  
 CD : coeficiente de defasagem;  
 $K_p$  : coeficiente de impacto;  
 P : peso da pessoa em (N);  
 T : período da atividade em (s);  
 $T_c$  : período de contacto da atividade em (s);  
 t : tempo em (s).

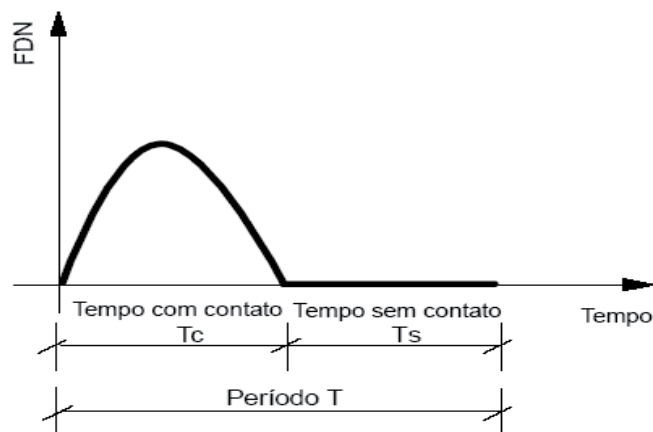


Figura 1: Representação genérica da função de carregamento dinâmico.

Destaca-se que o parâmetro CD é um coeficiente de ponderação das ações dinâmicas definidas em função da atividade realizada e do número de pessoas que atuam sobre a estrutura. Este coeficiente leva em conta os efeitos de multidão, ou seja, o grau de sincronismo entre as pessoas que atuam sobre a estrutura (Faísca 2003). Deste modo, a definição deste parâmetro considera possíveis defasagens e variações de ritmo que levariam a redução da intensidade do carregamento. Na sequência do texto, são apresentados os valores do coeficiente de defasagem, CD, e os demais parâmetros obtidos experimentalmente (Faísca 2003), para três tipos distintos de atividades humanas rítmicas, Tabela 1.

Número de Pessoas	CD	
	Ginástica Aeróbica	Saltos à Vontade
1	1	1
3	1	0,88
6	0,97	0,74
9	0,96	0,70
12	0,95	0,67

Tabela 1: Valores adotados para o coeficiente de defasagem CD (Faísca, 2003).

Atividades	T (s)	T <sub>c</sub> (s)	K <sub>p</sub>
Saltos à vontade	0,44 ± 0,15	0,32 ± 0,09	3,17 ± 0,58
Ginástica aeróbica	0,44 ± 0,09	0,34 ± 0,09	2,78 ± 0,60
Show/Torcida	0,37 ± 0,03	0,37 ± 0,03	2,41 ± 0,51

Tabela 2: Parâmetros utilizados na função de carregamento (Faísca, 2003).

### 3 MODELO ESTRUTURAL

O sistema estrutural utilizado neste estudo baseia-se em um sistema de lajes maciças de concreto armado apoiado sobre vigas de aço, formando assim um sistema misto (aço-concreto). O sistema é composto por quatro vãos de 10m nas duas direções, perfazendo uma área total de 1600m<sup>2</sup>. O espaçamento entre as vigas secundárias também é mantido constante e igual a 3,3m, Figuras 2 e 3. São consideradas ligações do tipo rígidas, semi-rígidas e flexíveis. As ligações semi-rígidas e flexíveis são consideradas apenas nas ligações entre as vigas principais e secundárias. As ligações entre as vigas principais e as colunas são do tipo rígidas.

Ressalta-se que quatro modelos estruturais foram estudados, a saber: no primeiro modelo estrutural (Modelo I), considera-se apenas o piso misto, sem levar em consideração a rigidez real das colunas; no segundo modelo (Modelo II), a rigidez real das colunas foi considerada e estas possuem uma altura de 4,0m (H = 4,0m); no terceiro modelo estrutural (Modelo III), os pilares são considerados com as suas respectivas projeções para o segundo pavimento; e, finalmente, no quarto e último modelo (Modelo IV) considera-se um sistema estrutural com dois pavimentos, com pé-direito de 4,0m.

Os perfis metálicos do tipo “I” são constituídos por um aço com limite de escoamento de 345MPa. Para as vigas de aço foi considerado um módulo de elasticidade igual a 205GPa. A laje de concreto possui espessura de 0,10m, resistência característica a compressão de 30MPa e módulo de elasticidade igual a 26GPa. A Tabela 3 ilustra as propriedades geométricas dos perfis das vigas e colunas. As Figuras 2 e 3 apresentam o modelo estrutural empregado; e, bem como, uma seção transversal genérica do piso. A Figura 4 ilustra a curva momento fletor versus rotação das ligações semi-rígidas (Oliveira, 2007). A rigidez inicial empregada para a modelagem da semi-rigidez das ligações estruturais foi de 12 kNmm/rad (12000 Nm/mrad).

Tipo de Perfil	Altura do Perfil (d)	Largura da Mesa (b <sub>f</sub> )	Espessura da Mesa Superior (t <sub>f</sub> )	Espessura da Mesa Inferior (t <sub>r</sub> )	Espessura da Alma (t <sub>w</sub> )
Viga - I 610 x 140	617	230	22,2	22,2	13,1
Viga - I 460 x 60	455	153	13,3	13,3	8,0
Coluna - H 250 x 85	254	260	14,4	14,4	14,4

Tabela 3: Características geométricas das vigas e colunas do piso misto aço-concreto (dimensões em mm).

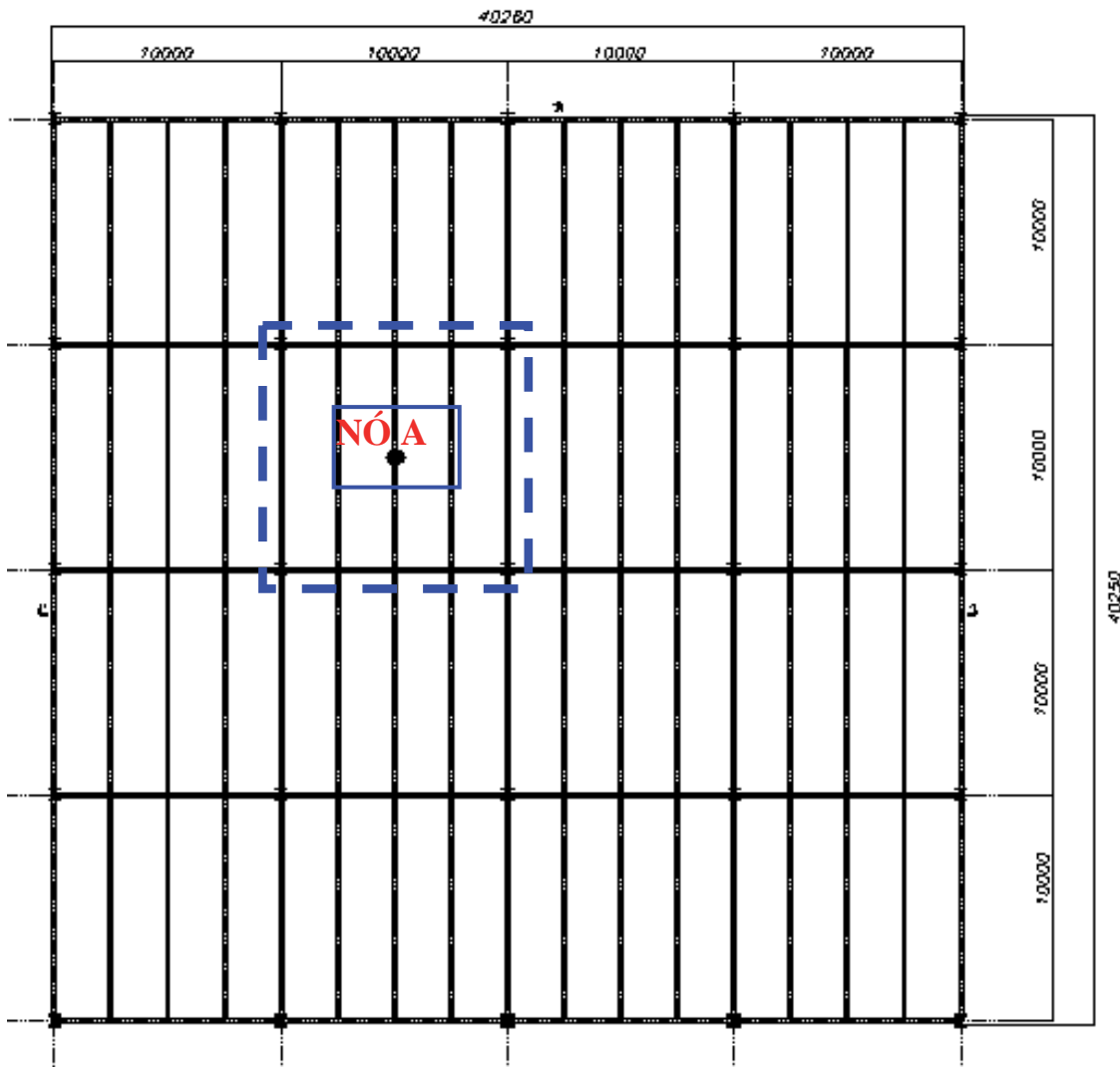


Figura 2: Planta baixa do piso misto (aço-concreto) investigado.

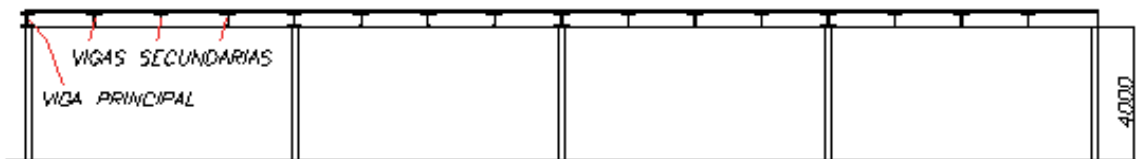


Figura 3: Seção transversal típica.

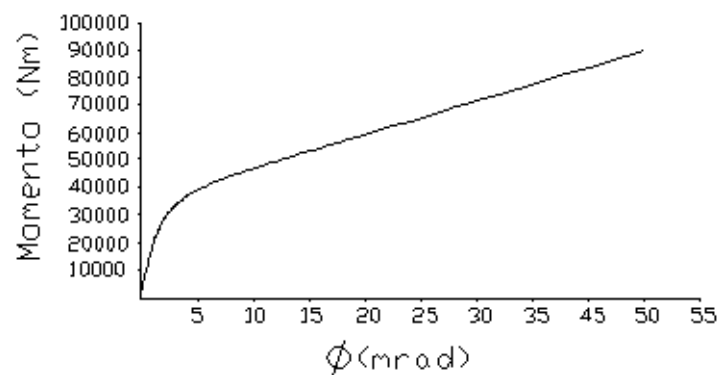


Figura 4: Curva momento versus rotação das ligações semi-rígidas (Oliveira, 2007).

#### 4 MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS

Os modelos computacionais foram desenvolvidos utilizando-se técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos, por meio do emprego do programa ANSYS (ANSYS, 2003).

As vigas e as colunas de aço dos modelos estruturais são simuladas por elementos finitos de viga tridimensionais BEAM44 (ANSYS, 2003), onde os efeitos de flexão e torção são considerados. A laje de concreto é simulada por meio de elementos finitos de casca SHELL63 (ANSYS, 2003).

Para a modelagem das ligações viga-viga flexíveis (ligações rotuladas), utilizou-se o elemento COMBIN7 (ANSYS, 2003), e para a simulação das ligações viga-viga semi-rígidas foi empregado o elemento COMBIN39 (ANSYS, 2003). A Figura 5 ilustra os elementos finitos empregados para a modelagem do sistema estrutural.

A análise considera que 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 SHELL63 (ANSYS, 2003) e os elementos de viga tridimensionais BEAM44 (ANSYS, 2003), simulando o comportamento de um sistema estrutural misto (aço-concreto), com interação total.

Considera-se, ainda, que os materiais empregados nas estruturas em estudo, aço e concreto, trabalhem em regime linear-elástico. Na seqüência do texto, a Figura 6 ilustra as malhas de elementos finitos utilizadas ao longo da presente investigação, no que diz respeito aos modelos estruturais I, II, III e IV, descritos no item 3 deste trabalho.

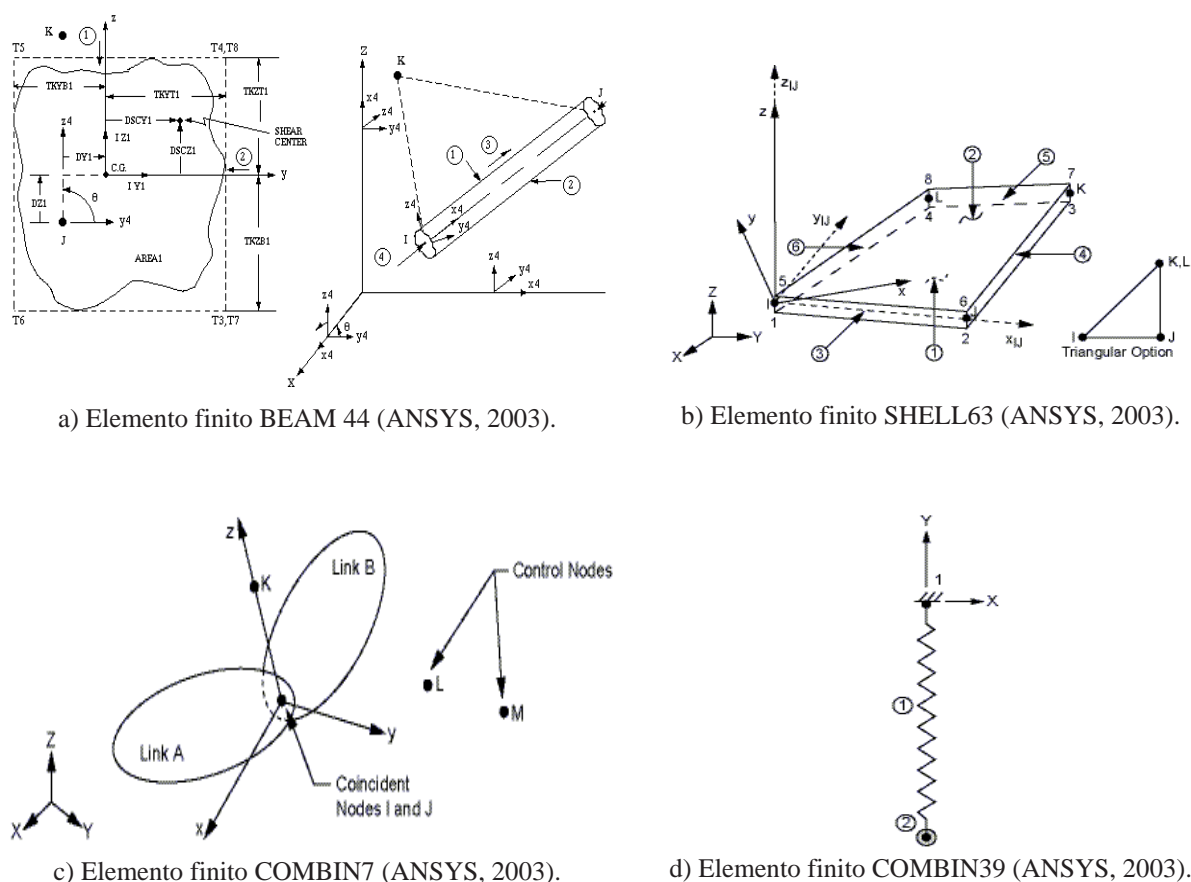


Figura 5: Elementos finitos utilizados na discretização do modelo.

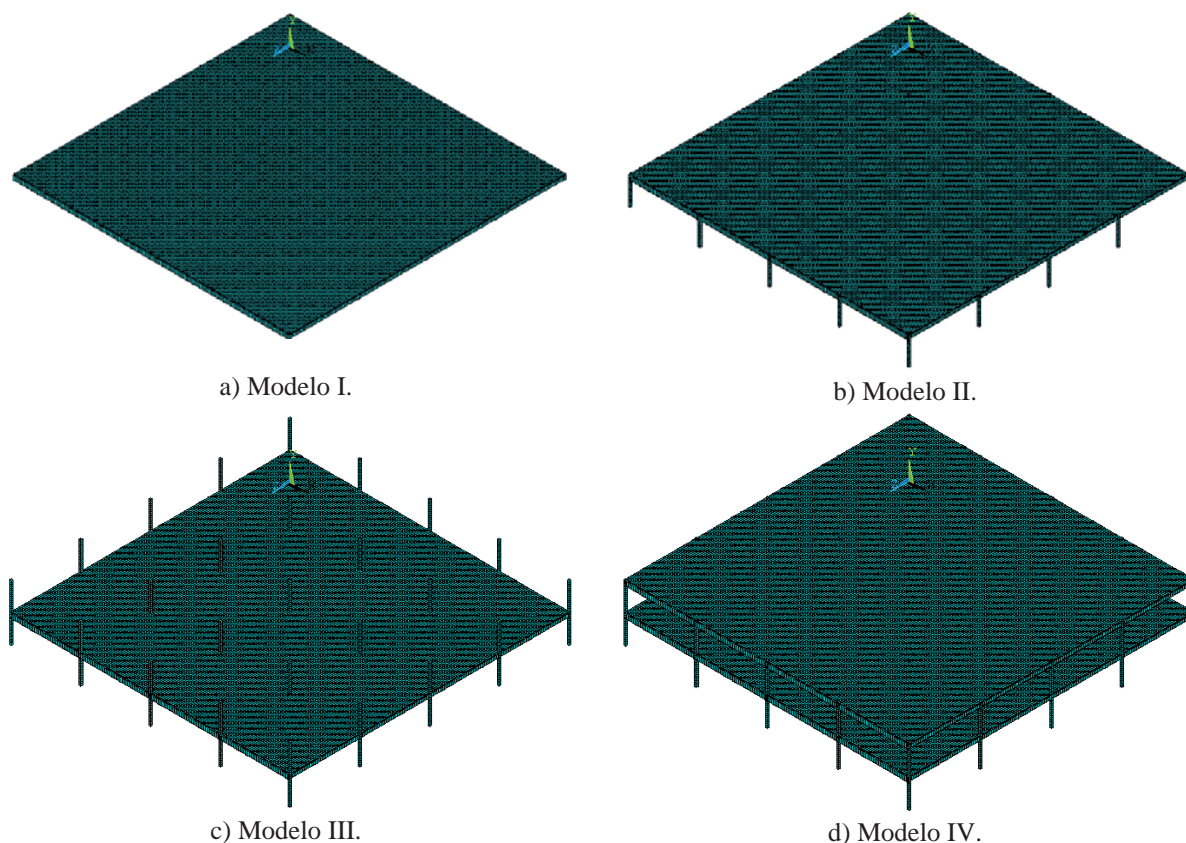


Figura 6: Malhas de elementos finitos representativas dos modelos estruturais I, II, III e IV.

## 5 ANÁLISE DINÂMICA DO SISTEMA MISTO (AÇO-CONCRETO)

A resposta dinâmica dos pisos estudados é determinada, inicialmente, mediante a obtenção das frequências naturais e dos modos de vibração dos modelos. Em seguida, com o objetivo de avaliar o nível de conforto humano dos pisos em estudo, de acordo com a metodologia de análise proposta, são obtidos, também, os valores das acelerações máximas dos modelos (acelerações de pico).

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

As Tabelas 4 a 7 apresentam os valores das primeiras seis frequências naturais dos modelos estruturais estudados (Modelos I a IV). Desta forma, torna-se possível observar a influência das ligações viga-viga (viga principal-viga secundária), sobre o comportamento dinâmico dos modelos em estudo (Modelos I a IV).

Frequências (Hz)	Modelo I		
	Rígido	Semi-rígido	Flexível
$f_{01}$	6,92	5,85	5,68
$f_{02}$	7,02	6,19	5,98
$f_{03}$	7,31	6,21	6,07
$f_{04}$	7,41	6,49	6,31
$f_{05}$	7,48	6,83	6,56

Tabela 4: Frequências naturais do modelo estrutural I.

Frequências (Hz)	Modelo II		
	Rígido	Semi-rígido	Flexível
$f_{01}$	7,04	5,91	5,75
$f_{02}$	7,11	6,17	5,97
$f_{03}$	7,33	6,27	6,12
$f_{04}$	7,45	6,48	6,30
$f_{05}$	7,46	6,69	6,44

Tabela 5: Frequências naturais do modelo estrutural II.

Frequências (Hz)	Modelo III		
	Rígido	Semi-rígido	Flexível
$f_{01}$	7,20	6,00	5,83
$f_{02}$	7,26	6,30	6,07
$f_{03}$	7,44	6,35	6,19
$f_{04}$	7,59	6,58	6,40
$f_{05}$	7,60	6,81	6,55

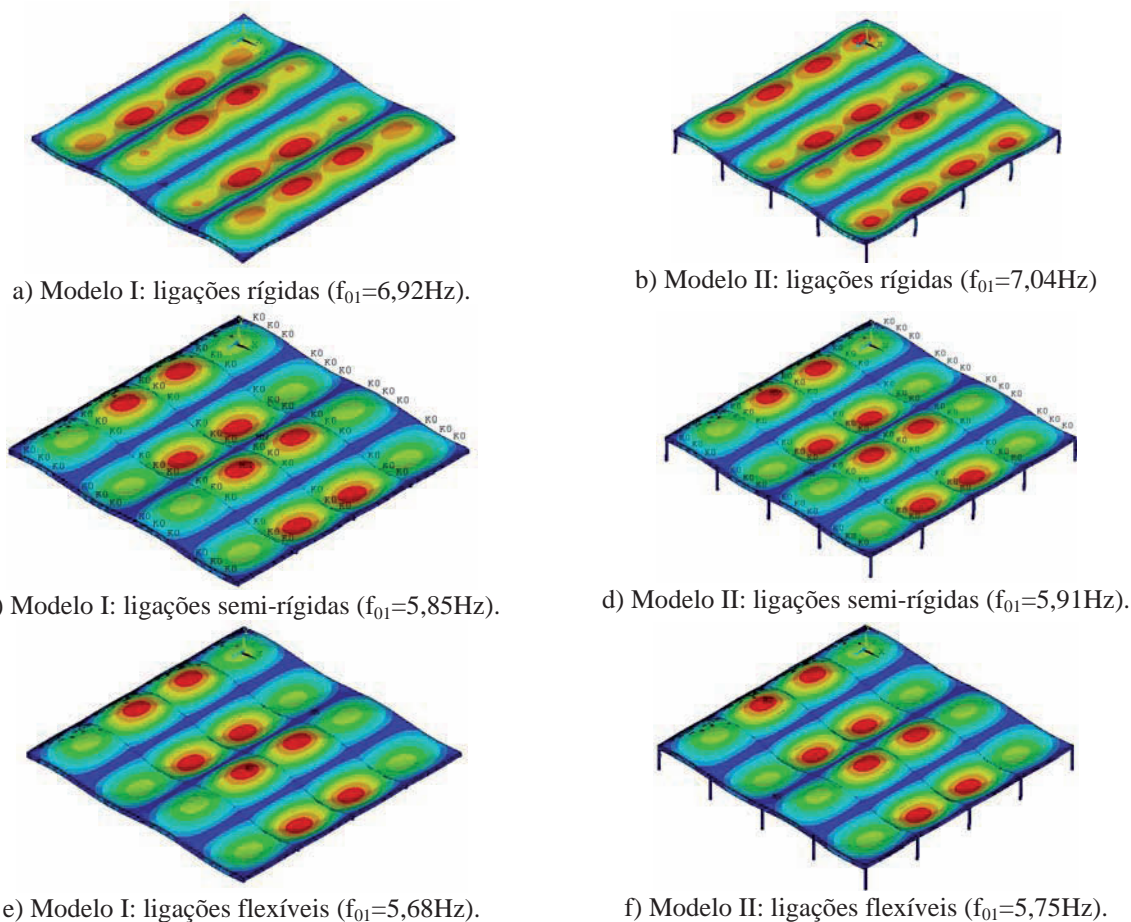
Tabela 6: Frequências naturais do modelo estrutural III

Frequências (Hz)	Modelo IV		
	Rígido	Semi-rígido	Flexível
$f_{01}$	7,02	5,87	5,72
$f_{02}$	7,10	6,01	5,84
$f_{03}$	7,23	6,08	5,89
$f_{04}$	7,26	6,24	6,06
$f_{05}$	7,27	6,27	6,09

Tabela 7: Frequências naturais do modelo estrutural IV

Observando-se valores apresentados nas Tabelas 4 a 7, percebe-se, claramente, uma redução nos valores das frequências naturais dos modelos estruturais quando os modelos flexíveis e semi-rígidos são comparadas com os modelos rígidos. Tal fato indica coerência, no que tange aos modelos desenvolvidos, uma vez que a diminuição da rigidez global da estrutura (com a massa da estrutura mantida constante) acarreta em uma redução das frequências naturais dos pisos, em especial da frequência fundamental da estrutura.

Por outro lado, convém chamar a atenção do leitor para o fato de que uma redução na frequência fundamental dos modelos torna esses pisos ainda mais suscetíveis às excitações dinâmicas induzidas pelos seres humanos; e, portanto, a influência das ligações estruturais sobre a resposta dinâmica dos pisos mistos (aço-concreto) deve ser considerada com cautela por parte dos projetistas de estruturas metálicas. Na seqüência do texto, as Figuras 7 e 8 ilustram os modos de vibração fundamentais dos modelos.

Figura 7: Modelos estruturais I e II: 1<sup>o</sup> modo de vibração.



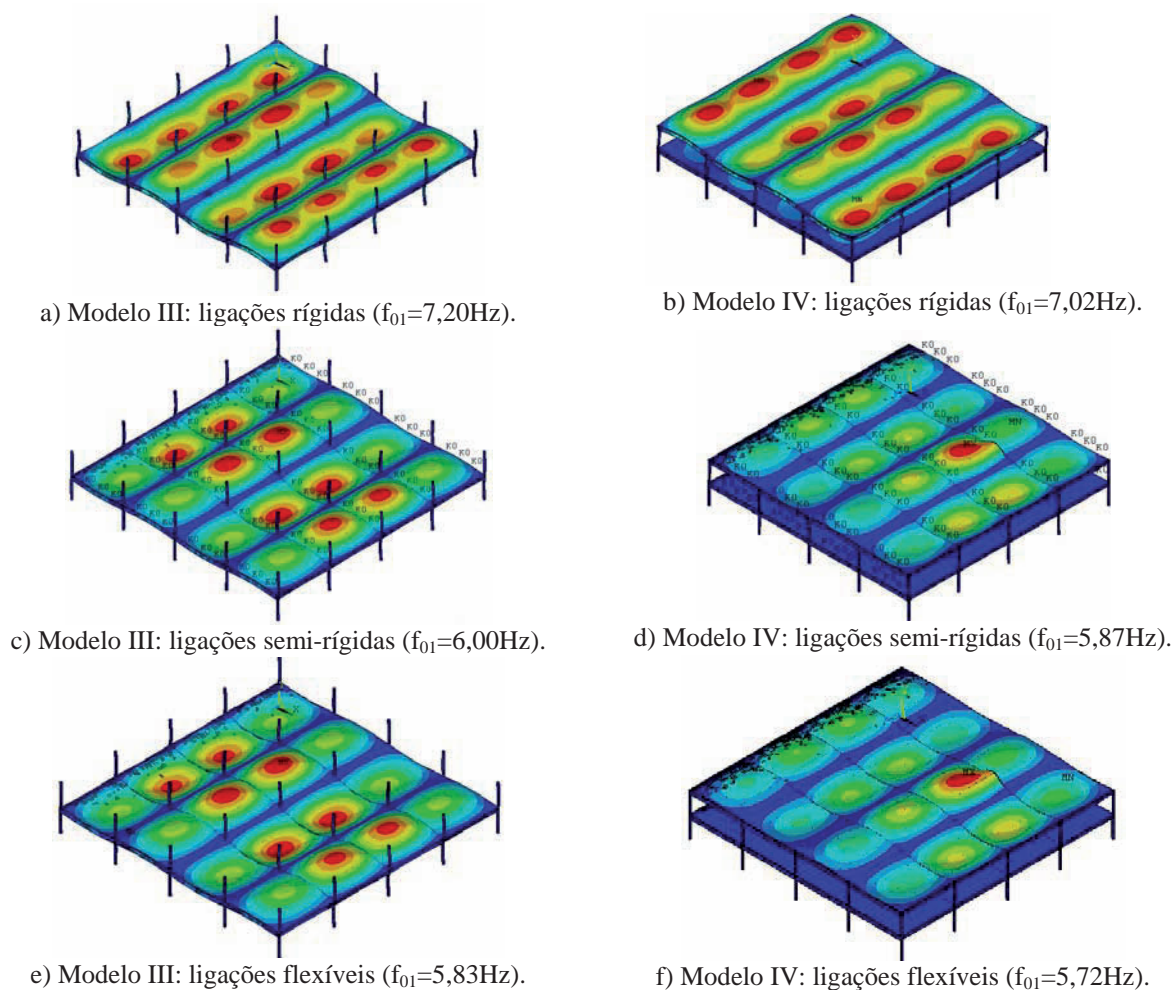


Figura 8: Modelos estruturais III e IV: 1<sup>o</sup> modo de vibração.

Observando as Figuras 7 e 8, percebe-se, de modo geral, que em todos os casos estudados, independentemente das ligações estruturais (rígidas, semi-rígidas ou flexíveis), o primeiro modo de vibração dos modelos apresenta predominância dos efeitos de flexão. Todavia, essas formas modais apresentam modificações na medida em que a rigidez das ligações viga-viga do piso são modificadas.

## 5.2 Estudo sobre o conforto humano do piso misto (aço-concreto)

Na seqüência do estudo, as Figuras 9 a 11 apresentam a resposta dinâmica do piso misto, ao longo do tempo, em termo dos deslocamentos translacionais verticais e das acelerações. A resposta do modelo foi obtida no centro de um dos painéis da laje de concreto (NÓ A, Figura 2), tomando-se como base, inicialmente, o modelo estrutural II (Modelo II, Figura 6b).

Estas grandezas (deslocamentos e acelerações) foram obtidas considerando-se 20 (vinte) pessoas praticando ginástica aeróbica sobre o piso, em posições simétricas em relação centro do referido painel (NÓ A, Figura 2), de acordo com uma taxa de distribuição de 0,25 pessoas/m<sup>2</sup> (Bachmann & Ammann, 1987).

Para tal foram utilizados os seguintes parâmetros:  $T_c=0,43\text{s}$ ,  $T_s=0,53\text{s}$ ,  $K_p=3,38$  e o coeficiente CD obtido de acordo com o numero de pessoas. O peso de um ser humano foi considerado como sendo igual a 800N (Bachmann & Ammann, 1987). O amortecimento estrutural foi considerado como sendo igual a 1% ( $\xi = 1\%$ ) (Murray et al., 2003).

Destaca-se que no lado esquerdo das Figuras 9 a 11, são apresentados os gráficos dos deslocamentos translacionais verticais e na parte a direita às respectivas acelerações. Os sinais no tempo mostrados nas Figuras 9 a 11 apresentam um trecho relativamente curto, da ordem de 0,5s, correspondente à fase transiente da resposta. Nesse trecho alguns picos se apresentam um pouco mais elevados, mas percebe-se que esses picos têm o seu valor amortecido, ao longo do tempo, e a fase permanente da resposta dos modelos é rapidamente alcançada, de acordo com os gráficos pertinentes as Figuras 9 a 11.

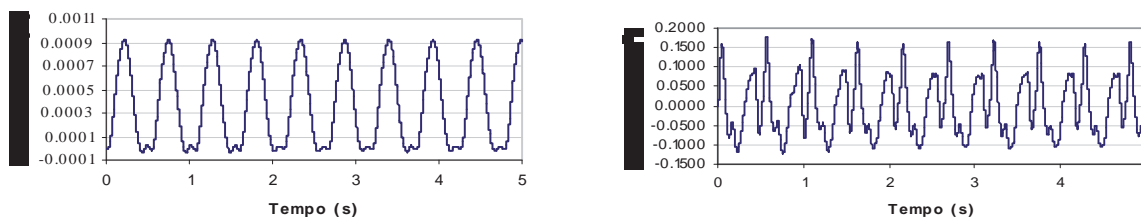


Figura 9: Modelo II: Nó A. Deslocamentos e acelerações. Ligações rígidas.

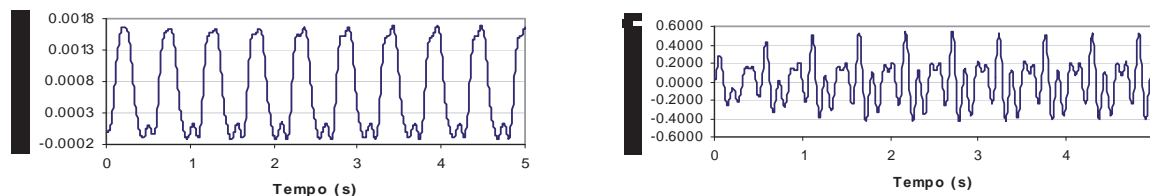


Figura 10: Modelo II: Nó A. Deslocamentos e acelerações. Ligações semi-rígidas.

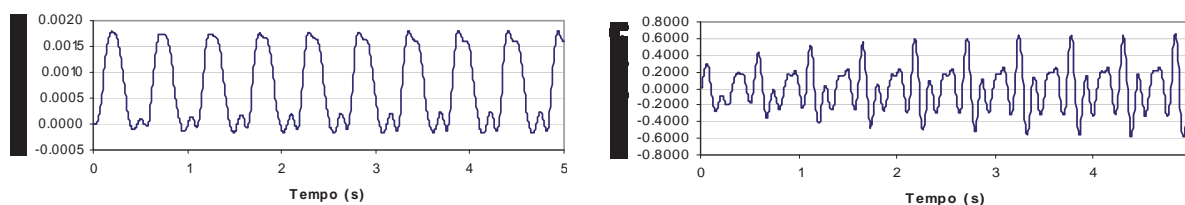


Figura 11: Modelo II: Nó A. Deslocamentos e acelerações. Ligações flexíveis.

Convém chamar a atenção do leitor para o fato de que os valores de aceleração de pico aqui analisados foram obtidos na fase permanente da resposta dos sistemas, Figuras 9 a 11, quando submetidos à ação de 20 pessoas praticando ginástica aeróbica sobre a laje de concreto (NÓ A, Figura 2).

Ressalta-se, ainda que as ligações semi-rígidas e flexíveis são consideradas apenas nas ligações entre as vigas principais e secundárias (ligações viga-viga). As ligações entre as vigas principais e as colunas são do tipo rígidas (ligações viga-coluna).

Por outro lado, os modelos computacionais que consideram todas as ligações com sendo rígidas (modelos rígidos), inclusive as ligações viga-viga, serviram apenas para um estudo numérico, no âmbito da análise paramétrica, pois sabe-se que na prática corrente de projeto as ligações viga-viga são consideradas, geralmente, como sendo rotuladas.

Assim sendo, foi verificado que o pico de aceleração mais elevado encontrado na presente investigação, considerando-se um carregamento dinâmico correspondente a 20 pessoas praticando ginástica aeróbica sobre o piso (NÓ A, Figura 2), foi da ordem de  $0,65\text{m/s}^2$ , Figura 11, referente ao piso misto(aço-concreto) com ligações flexíveis entre as vigas ( $f_{01} = 5,75\text{Hz}$ ).

No que diz respeito ao modelo semi-rígido ( $f_{01} = 5,91\text{Hz}$ ), com o mesmo carregamento dinâmico, este valor foi da ordem de  $0,52\text{m/s}^2$ , Figura 10; e, ainda, com relação ao sistema considerado como sendo rígido, nas mesmas condições de carregamento, a aceleração de pico foi igual a  $0,16\text{m/s}^2$  ( $f_{01} = 7,04\text{Hz}$ ), Figura 9.

Com base nos valores de aceleração de pico encontrados, correspondente a fase permanente da resposta do modelo, foi observado que quando as ligações viga-viga do piso misto (aço-concreto) foram consideradas como semi-rígidas ( $a_p = 0,52\text{m/s}^2 > a_{lim} = 0,50\text{m/s}^2$ ), Figura 10, ou mesmo flexíveis ( $a_p = 0,65\text{m/s}^2 > a_{lim} = 0,50\text{m/s}^2$ ), Figura 11, os limites para conforto humano foram violados, de acordo com normas e recomendações de projeto ( $a_{lim} = 0,50\text{m/s}^2$ ) (ISO 2631-2,1989; Murray et al., 2003).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa contribui para avaliar a influência das ligações estruturais (ligações viga-viga e ligações viga-coluna), sobre a resposta dinâmica de pisos mistos (aço-concreto), quando submetidos a excitações dinâmicas rítmicas induzidas pelos seres humanos (ginástica aeróbica). Para tal foram desenvolvidos inúmeros modelos numérico-computacionais, com base no emprego de técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos, por meio do programa ANSYS (ANSYS, 2003).

A metodologia de análise proposta considera o estudo do comportamento dinâmico linear em regime de serviço de pisos mistos (aço-concreto). Assim sendo, foi possível avaliar o nível de vibração dos pisos, quando submetidos à ginástica aeróbica, com base na obtenção da resposta dinâmica dos modelos, em termos das acelerações de pico.

Foi verificado que o tipo de ligação entre as vigas (ligações viga-viga), para o piso investigado, altera de forma significativa os valores finais das acelerações de pico. Cabe ressaltar, também, que para o caso de carregamento dinâmico considerado nesta investigação foi observado que o modelo estrutural em questão viola os critérios estabelecidos para conforto humano, de acordo com normas e recomendações de projeto (ISO 2631-2,1989; Murray et al., 2003).

Este quadro pode ser um indicativo de que os critérios de projeto devem levar em conta o caráter dinâmico da excitação e, especialmente, a influência das ligações estruturais (ligações viga-viga e ligações viga-coluna), no que tange a verificação os estados limites de utilização (vibrações excessivas). Ressalta-se, também, que a análise de conforto humano deve ser feita com muita cautela por parte dos projetistas de estruturas de aço mistas (aço-concreto).

Os resultados encontrados nesta investigação sugerem a continuação da pesquisa com base no desenvolvimento de análises paramétricas, através da modificação de determinados parâmetros de projeto, tais como: a variação da rigidez das ligações viga-viga, espessura da laje de concreto e características geométricas das vigas e colunas de aço. Aspectos referentes à variação dos parâmetros adotados na função representativa do carregamento dinâmico também merecem ser investigados na análise paramétrica.

## 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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado e Protendido - Procedimento, 2003.

- ANSYS, Swanson Analysis Systems, Inc., P.O. Box 65, Johnson Road, Houston, PA, 15342-0065, Version 10.0, Basic analysis procedures, 2<sup>nd</sup> Edition, 2003.
- Bachmann, H. e Ammann, W., Vibrations in structures induced by man and machines, IABSE Structural Engineering Document 3E, International Association for Bridges and Structural Engineering, ISBN 3-85748-052-X, 1987.
- Faísca, R. G., Caracterização de Cargas Dinâmicas Geradas por Atividades Humanas, 230 páginas. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL, 2003.
- International Standards Organisation / ISO 2631-2. Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. Continuous and Shock-Induced Vibration in Buildings (1-80Hz), 1989.
- Mello, A.V. de A., Vibrações em pisos de edificações induzidas por atividades humanas. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PGECIV, Faculdade de Engenharia, FEN, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2005.
- Mello, A.V. de A., Silva, J.G.S. da., Lima, L.R.O. de., Dynamical Analysis for the Walking Induced Vibrations of Composite Floors. CC 2005 - The Tenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Roma, Itália, CD-OM, pp. 1-15, 2005.
- Mello, A.V. de A., Silva, J.G.S. da., Vellasco, P.C.G. da S., Andrade, S.A.L. de., Lima L.R.O. de., Estudo do Conforto Humano em Pisos Mistos (Aço-Concreto). Revista da Escola de Minas, vol. 60, pp. 409-418, 2007.
- Moreira, B.C. Avaliação Comparativa de Pisos de Edificações em Estrutura Metálica Quanto aos Critérios de Vibração, Dissertação de Mestrado, Escola de Minas / UFOP, Ouro Preto/MG, Brasil, 2004.
- 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, 2003.
- Ohlsson, S.V., Floor Vibration and Human Discomfort, PhD Thesis, Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Gotemborg, Sweden, 1982.
- Varela, W.D., Modelo Teórico-Experimental para Análises de Vibrações Induzidas por Pessoas Caminhando sobre Lajes de Edifícios, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro;/RJ, Brasil, 2004.