

# CONTROLE DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR BRINQUE- DOS E PESSOAS EM UM SHOPPING CENTER

Ronaldo Carvalho Battista<sup>1,2</sup>

Wendell Diniz Varela<sup>3</sup>

Emerson Figueiredo dos Santos<sup>1</sup>

Walber da Luz Correa<sup>1</sup>

**Resumo:** O presente artigo apresenta os principais aspectos da investigação e da solução do problema de vibrações causado por diferentes fontes de excitação dinâmica na estrutura mista de um centro comercial. No centro de entretenimento, os brinquedos eletromecânicos induzem vibrações que se propagam pela estrutura das lajes de piso, pilares, vitrines e luminárias das lojas do pavimento inferior, causando desconforto aos funcionários e clientes. Além disso, o simples caminhar de pessoas também induz vibrações, principalmente em uma área de varanda da praça de alimentação. Para identificar as diversas fontes e a intensidade das vibrações foram realizadas medições de vibrações livres para identificação das características dinâmicas da estrutura e monitoração das vibrações induzidas pelos vários equipamentos. Foram construídos modelos computacionais de trechos das estruturas calibrados experimentalmente com os resultados das medições e a simulação das diversas fontes de excitação por meio de modelos matemáticos. Foram realizadas simulações de possíveis soluções para os problemas de vibrações, incluindo: (i) o enrijecimento de parte da estrutura de piso com vigas metálicas adicionais; (ii) a execução de um piso sanduíche com a adição de uma camada de concreto de alto desempenho sobre uma manta de material viscoelástico; (iii) atenuadores dinâmicos sincronizados; (iv) isolamento de vibrações com base sobre molas e amortecedores. As descrições e os desempenhos das soluções propostas, algumas fisicamente implementadas e outras não, são aqui apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** Dinâmica, controle de vibrações, análise experimental, modelagem.

**Abstract:** The main aspects of the investigation and solution of the vibration problems occurring in composite structures of floor decks of a shopping center are briefly discussed and presented in this paper. The main sources of vibrations are related to electrical-mechanical equipments of a play-center situated on the third floor of the building and also related to dynamic forces produced by people walking on the flexible steel deck floors. Transmission of vibrations through the structural components to other neighboring parts of the building caused annoyance to the users and workers in many shops located in the floor below the play-center. To identify the main sources and intensity of vibrations dynamic measurements were carried out, being the results used both to analyze the vibration problem and to calibrate finite element models and to create mathematical models of the forcing functions. With this theoretical-numerical-experimental approach the calibrated numerical models could be used to seek for alternative solutions of the identified vibration problems. Some of the sought dynamic control solutions are presented herein: (i) structural strengthening of the steel deck floor; (ii) sandwich deck composed by a thin layer of viscoelastic material in between two reinforced concrete slabs; (iii) tuned massed dampers; (iv) spring-damper base isolators. The descriptions and performances of the proposed solutions, some of them really implemented and others not, are briefly presented and discussed here.

**Keywords:** Dynamics, vibration control, experimental analysis, computational modeling.

---

1 Controllato Ltda. Rua Fonseca Teles, 129, São Cristóvão, Rio de Janeiro/RJ, CEP: 20940-200. E-mail: controllato@controllato.com.br

2 Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. CT Bloco I sala 216, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, CEP: 21945-970. E-mail: battista@coc.ufrj.br

3 Departamento de Estruturas da FAU/UFRJ. Edifício da FAU/Reitoria, sala 318, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, CEP: 21941-901. E-mail: wendell@fau.ufrj.br

## 1. INTRODUÇÃO

Estruturas de centros comerciais estão sujeitas a ações dinâmicas típicas associadas às atividades humanas e às produzidas por máquinas e equipamentos eletromecânicos e, portanto, o projeto estrutural deve levar em consideração essas ações dinâmicas. Uma área de lazer e jogos (“play-center”) com equipamentos que geram choques e vibrações intensas devem ser preferencialmente localizados numa área térrea, para que as vibrações sejam absorvidas e dissipadas por fundações especialmente projetadas para este fim. No caso aqui apresentado, os equipamentos foram locados no terceiro pavimento de em centro comercial sobre uma estrutura mista flexível, resultando em amplificação dinâmica e transmissão e propagação das vibrações a áreas vizinhas, causando grande desconforto e apreensão aos funcionários e clientes das lojas, especialmente as localizadas imediatamente abaixo da referida área de jogos.

Neste trabalho apresentam-se de maneira resumida as soluções para os principais problemas de vibração da estrutura, desenvolvidas com base nas respostas dinâmicas obtidas por medições experimentais e simulações numéricas (Battista *et al.* 2007, 2008, 2010 e 2012). As medições foram realizadas com o intuito de identificar as características dinâmicas da estrutura e as fontes de vibração. As ações dinâmicas que causavam vibrações excessivas na estrutura eram os “carriños bate-bate” e a atividade humana do caminhar de pessoas sobre as lajes de piso, além de outras fontes menores de vibrações. Para cada ação dinâmica identificada foram apresentadas soluções específicas, em função da conveniência operacional e financeira dos lojistas e da administração do centro comercial.

As medições experimentais foram feitas por meio da instrumentação com acelerômetros. Os ensaios de vibração livre para identificação das características dinâmicas da estrutura foram realizados

por meio da aplicação de forças impulsivas sucessivas sobre os painéis de laje, produzidas por batidas dos calcanhares (*heel drop test*).

Modelos numéricos tridimensionais em elementos finitos de vários trechos das estruturas mistas foram elaborados com o auxílio do programa SAP2000 e de um programa computacional especialmente desenvolvido em linguagem FORTRAN para soluções de problemas de vibrações. Os modelos foram calibrados e validados por meio da correlação com as medições experimentais realizadas. As respostas às ações dinâmicas foram assim utilizadas para conceber soluções alternativas para os problemas identificados e projetar e fabricar os dispositivos dos sistemas de controle dinâmico.

O centro comercial com três pavimentos acima do nível térreo foi construído em estrutura aporticada metálica com lajes de piso *steel deck* em módulos de 8m x 10m; cada pavimento com cerca de 30.000m<sup>2</sup> de área.

## 2. MONITORAÇÃO DINÂMICA

Como a estrutura tem grandes dimensões e as fontes de transmissão de vibrações se encontram em áreas restritas, foram somente analisadas as partes da estrutura concernentes ao problema em foco: a área do centro de diversões, com uma área de ~1.500 m<sup>2</sup> do terceiro piso do centro comercial, a área de varandas em grande balanço deste mesmo piso e a área correspondente ao centro de diversões no piso inferior ocupado por lojas comerciais.

Foram utilizados vários acelerômetros instalados em diversos pontos e direções sobre o piso e os equipamentos, os quais pareciam a princípio serem as principais fontes de vibração. Foram realizadas várias campanhas de medição de maneira a isolar as fontes de vibração e assim determinar as características dinâmicas da fonte de vibração e sua transmissibilidade à estrutura.

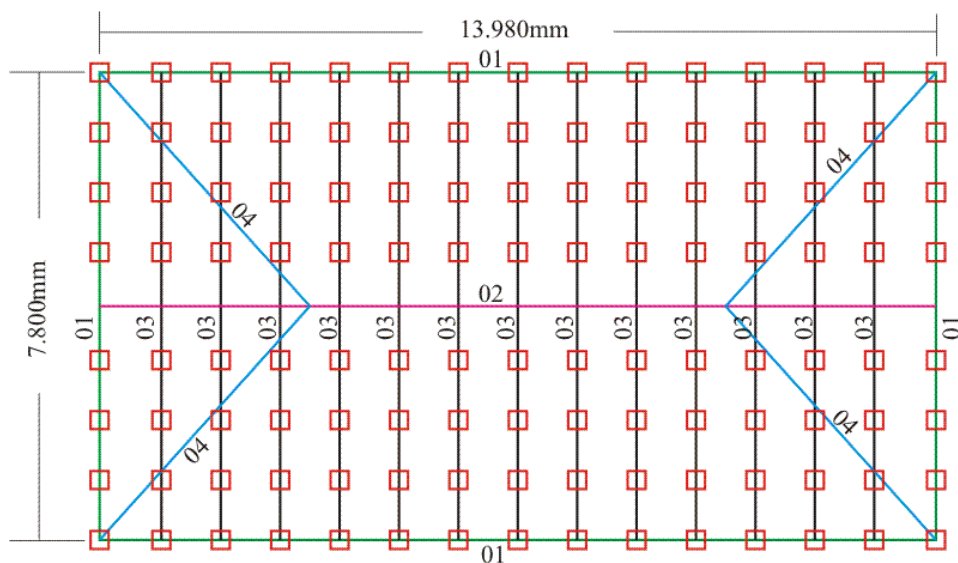
Os sinais de aceleração obtidos nas campanhas de medições experimentais foram condicionados e registrados digitalmente e processados com auxílio de um programa de computador especialmente desenvolvido para este fim. Foram obtidas as FFTs (transformadas rápidas de Fourier) dos sinais dos sensores para que fosse realizada a análise em frequência.

Visando uma formatação mais concisa dos resultados e análises experimentais, os mesmos serão apresentados em

conjunto com os resultados de simulações de desempenho das soluções projetadas.

### 3. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS SOLUÇÕES PARA VIBRAÇÕES INDUZIDAS PELOS “CARRINHOS BATE-BATE”

A pista de carrinhos elétricos “bate-bate” foi apontada como a fonte de vibrações que mais incomodava os usuários do centro comercial (ver Figura 1).



#### Perfis tubulares

Borda (01): 60x40x1,2mm<sup>3</sup>

Long.central (02): 60x80x1,5mm<sup>3</sup>

Travessas (03): 60x60x1,5mm<sup>3</sup>

Diagonais (04): 40x40x1,2mm<sup>3</sup>

☐ Calços de borracha dura e madeira      Peso dos carros ~1.000N

(a) Croquis da grelha de suporte da pista em planta.



(b) Foto do local.



(c) Detalhe dos apoios.

Figura 1. Estrutura original da pista dos “carrinhos bate-bate”.

As vibrações induzidas na estrutura ocorriam devido ao tráfego dos carrinhos sobre irregularidades da pista e também devido aos choques dos carrinhos entre si e entre estes e os batentes laterais da pis-

ta. Foram propostas duas soluções alternativas para o problema de vibrações conceitualmente distintas. A primeira solução apresentada consistiu no controle das vibrações pela combinação de três

sistemas complementares: (i) o enrijecimento do painel estrutural logo abaixo da pista dos “carrinhos bate-bate” com a adição de uma viga de grande rigidez, aumentando as frequências naturais de vibração do referido painel estrutural; (ii) a atenuação das vibrações em alta frequência pela execução de uma laje sanduíche (AVE) composta pela laje *steel deck*, uma fina camada de material viscoelástico e uma sobrelaje em concreto armado; (iii) a atenuação de vibrações em uma determinada faixa de baixa frequência com a instalação de atenuadores dinâmicos sintonizados (ADS), uma vez que a taxa de amortecimento da estrutura era baixa (< 3%). Várias soluções de problemas de vibrações que foram resolvidas utilizando AVE e ADS e que envolvem os autores deste artigo são descritas em Battista e Varela (2002), Vasconcelos e Battista (2004), Santos *et al.* (2004), Correa e Battista (2006), Battista e Pfeil (2010) e Varela e Battista (2011). A segunda solução, apresentada e executada, buscou evitar ao máximo as óbvias inconveniências que obras poderiam causar à administração e aos lojistas do centro comercial. A redução da transmissibilidade das vibrações foi feita pelo isolamento dinâmico da estrutura da pista de “carrinhos bate-bate” com auxílio de uma grelha metálica sobre dispositivos mecânicos de apoio (mola-amortecedor) sintonizados em uma frequência distinta da faixa de frequências de excitação produzidos pelos referidos “carrinhos”.

### **3.1 Solução A: enrijecimento estrutural + atenuador viscoelástico (AVE) + atenuador dinâmico sintonizado (ADS)**

A Figura 2 ilustra o projeto conceitual da solução A. A Figura 3 mostra o modelo numérico MEF-3D da estrutura que contém a região da pista de carrinhos bate-bate. Na Figura 4 são mostrados os principais modos de vibração da estrutura mista do piso sob a referida pista, obtidos por meio do programa *Controlmads*, especialmente desenvolvido pelos autores para avaliação de desempenho e projeto de soluções para problemas de vibração

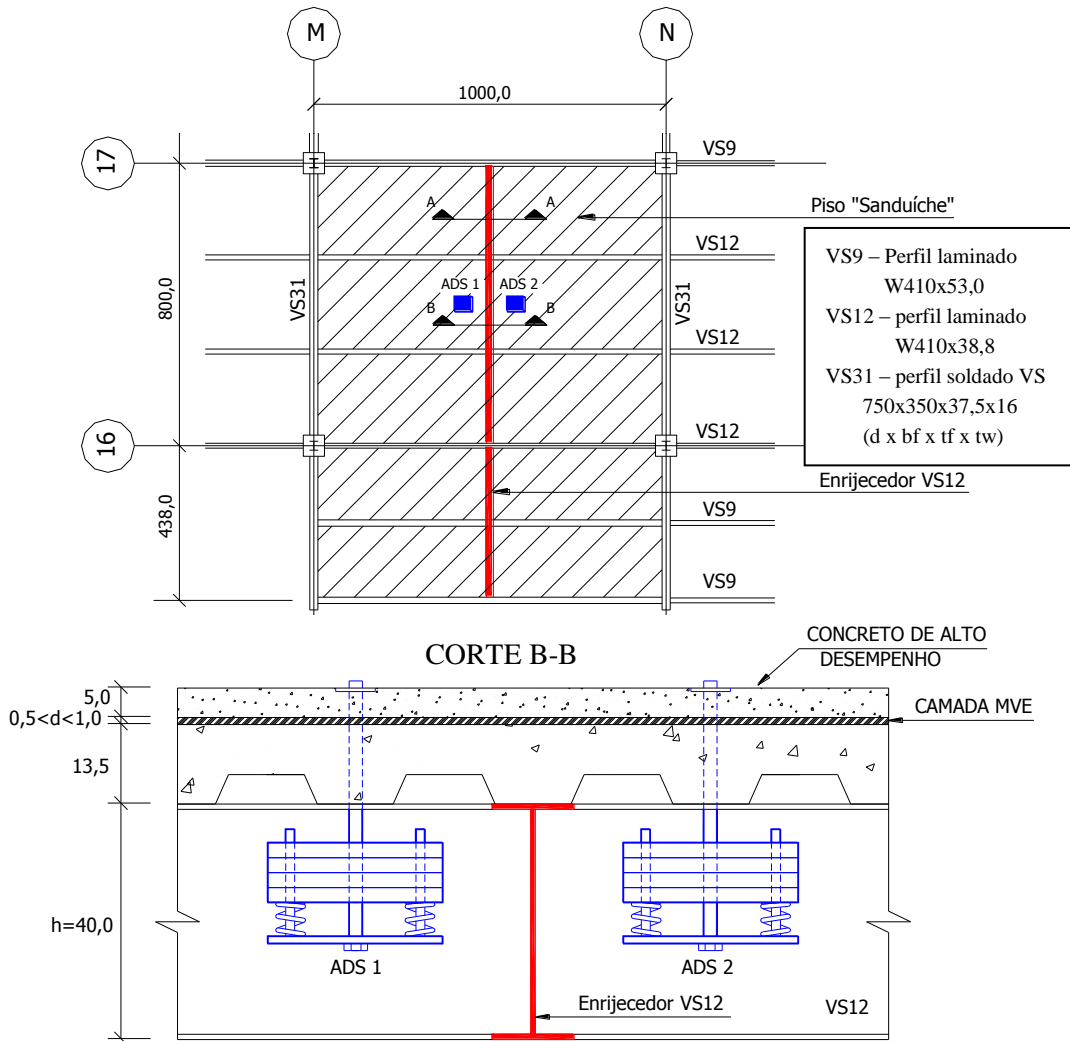
em estruturas por meio de sistemas de controle dinâmico passivo.

A Figura 5 mostra a função força aplicada em um determinado ponto da estrutura para simular o efeito do movimento dos “carrinhos bate-bate”, obtida a partir da própria resposta experimental da estrutura. Para isso, a resposta em aceleração da estrutura foi multiplicada por um fator, transformando-a em unidade de força. Este fator foi obtido por tentativa, até se encontrar a resposta da estrutura na simulação numérica próxima à resposta experimental. A Figura 6 mostra a comparação entre as respostas dinâmicas da estrutura obtidas experimentalmente e aquelas obtidas com a aplicação da função força da Figura 5 no modelo numérico. Devido à complexidade do problema, pode-se considerar a correlação teórico-experimental satisfatória e, portanto, as modelagens da carga e da estrutura são representativas e podem ser utilizadas nas simulações de soluções para o problema de vibrações.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados das simulações do movimento e, portanto, das forças dinâmicas produzidas pelos carrinhos, tendo como base de comparação os resultados experimentais. Nota-se na Figura 7 que a utilização de uma longarina para enrijecimento da estrutura translada a faixa de frequências naturais do conjunto, mas não é suficiente para a necessária redução das vibrações. Observa-se ainda que a adição da laje sanduíche (atenuador viscoelástico – AVE) provoca a atenuação das vibrações em frequências mais altas, mas ainda permite vibrações significativas em torno de 7 Hz. Observa-se na Figura 8 que a adição dos ADS, sintonizados numa frequência próxima a 7 Hz, atenua as amplitudes de vibrações associadas a esta frequência. Assim, a combinação destes três sistemas resultaria em níveis de vibrações com valores aceitáveis. Pode-se inferir uma redução de ~70% das maiores amplitudes de vibração (Fig.8). Entretanto, a execução desta solução combinada implicaria em interferências e obras por

demais inconvenientes ao funcionamento das lojas comerciais e ao trânsito de usuários e visitantes. Procurou-se então con-

verter esses inconvenientes buscando outra solução alternativa mais simples descrita a seguir no item 3.2.



Massa móvel de cada ADS = 200kg, medidas em cm.

Figura 2. Croquis da solução A (planta e corte): Enrijecedor + AVE + ADS.

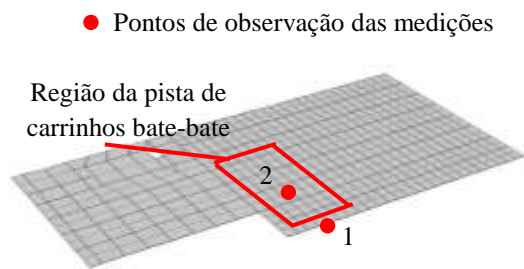


Figura 3. Modelo MEF-3D da estrutura contendo a região da pista de carrinhos bate-bate.

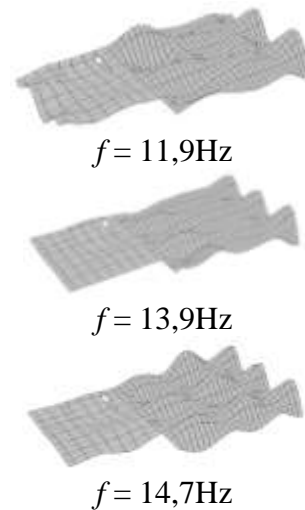


Figura 4. Modos de vibração dominantes na resposta da estrutura (pista de carros bate-bate).

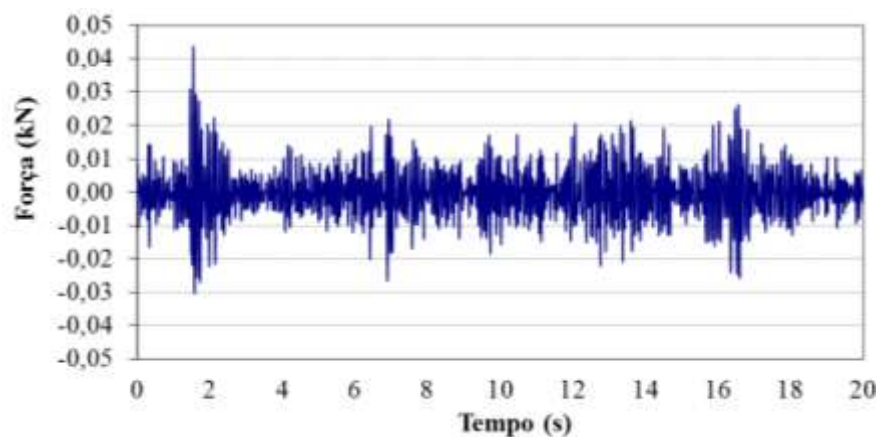


Figura 5. Função força utilizada nas simulações numéricas (tráfego de carrinhos bate-bate).

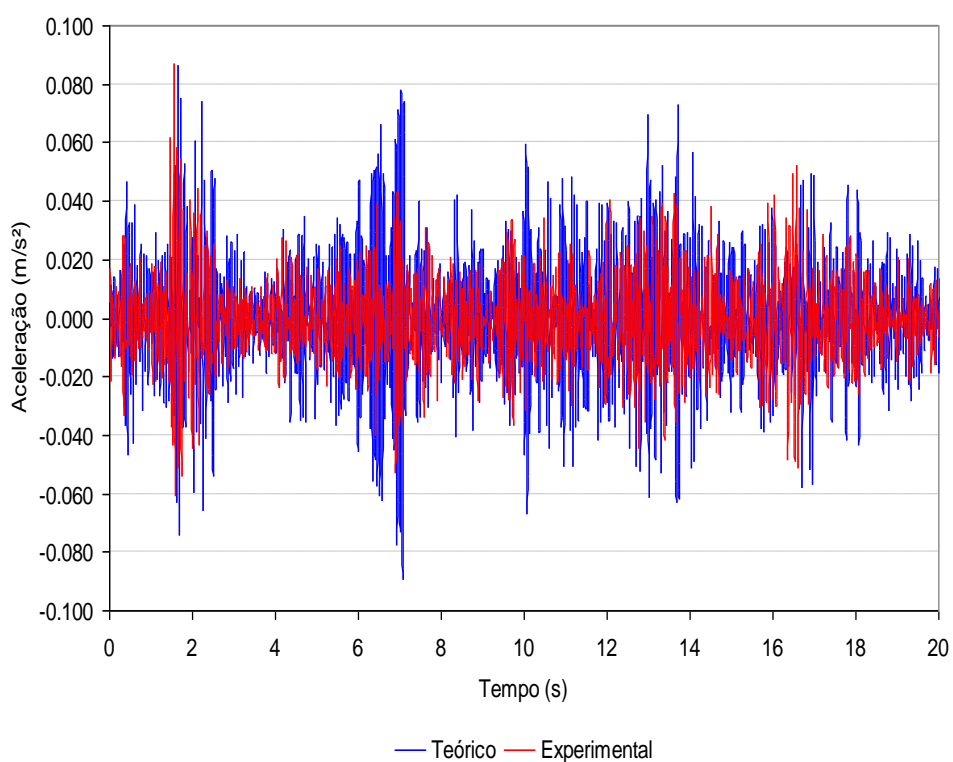
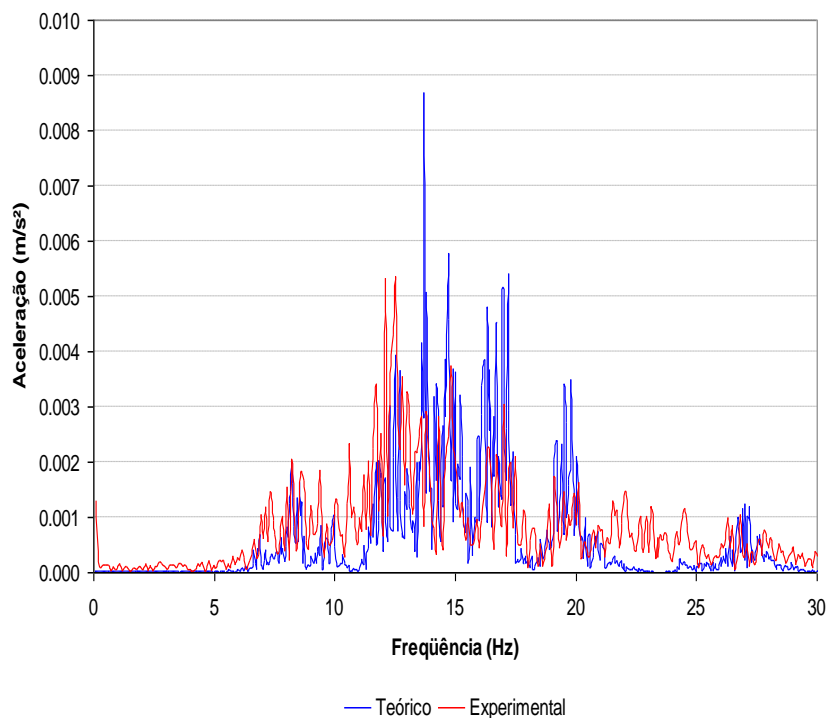


Figura 6a. Correlação teórico-experimental das respostas da estrutura no tempo para o tráfego de carros bate-bate.



(b) frequência

Figura 6b. Correlação teórico-experimental das respostas da estrutura no domínio da frequência para o tráfego de carros bate-bate.

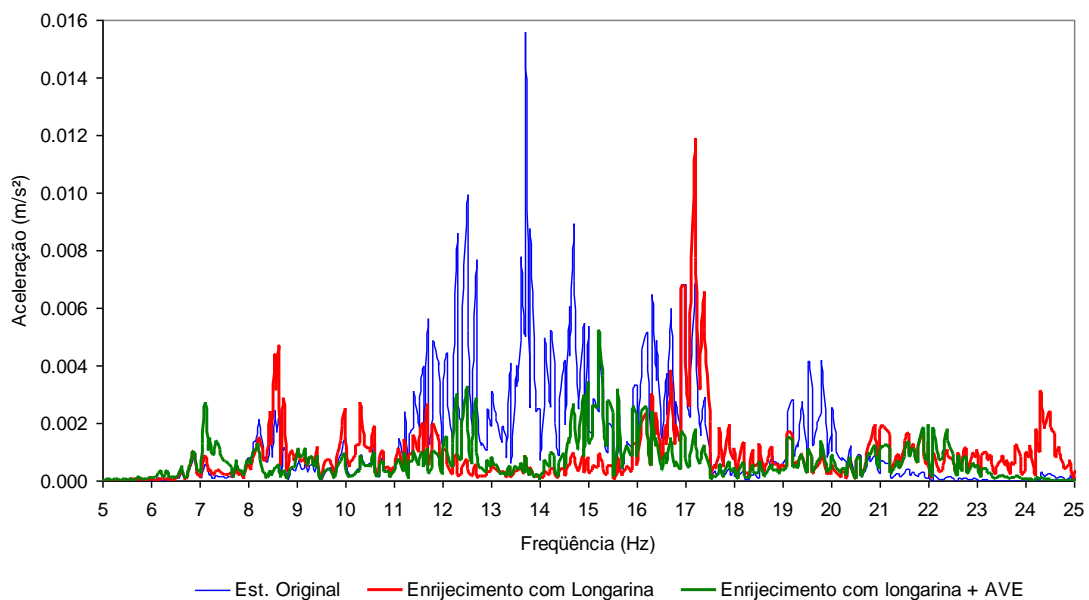


Figura 7. Comparação das respostas da estrutura original e alterada para simulação do tráfego de carros bate-bate (ponto 1, Fig.3).

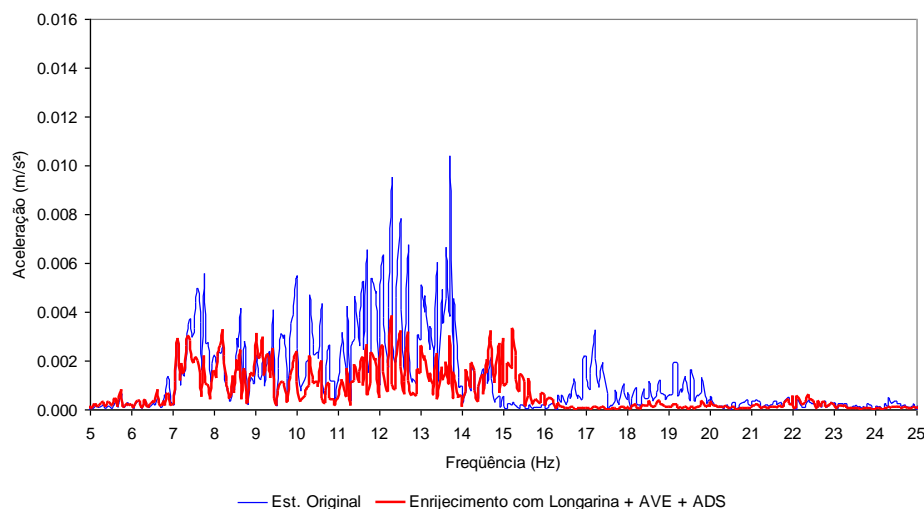


Figura 8. Comparação das respostas da estrutura original e alterada para simulação do tráfego de carros bate-bate (ponto 2, Fig.3).

### 3.2 Solução B: estrutura da pista sobre grelha metálica com isoladores de base

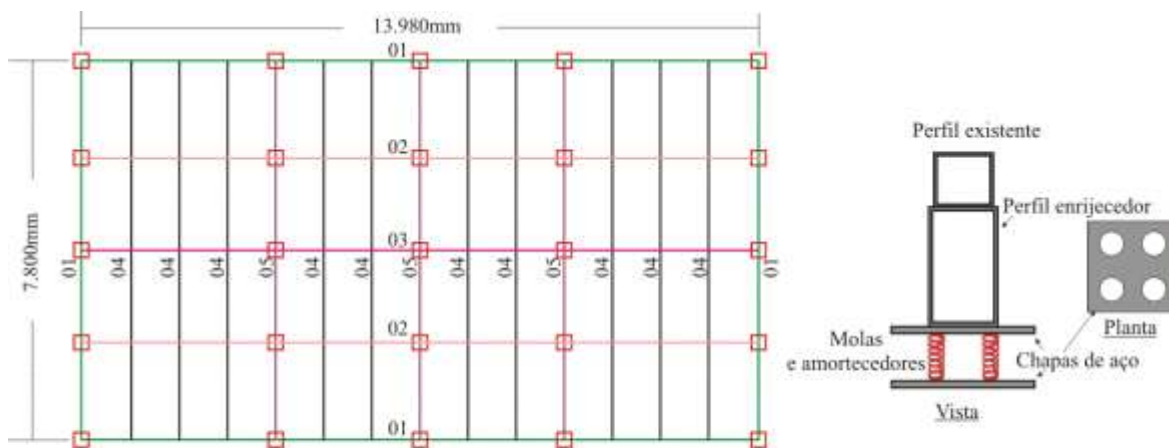
A efetividade do isolamento de vibrações depende da rigidez da estrutura original de suporte da pista. Assim sendo, foi necessário primeiramente enrijecer essa estrutura por meio de uma grelha metálica parafusada sob a estrutura original. Na Figura 9 é ilustrado o projeto conceitual da solução B. Na Figura 10 é mostrado em detalhe um isolador dinâmico de base (IDB) utilizado para apoio da grelha. Nos testes para certificação dos conjuntos de molas-amortecedores foram determinadas as propriedades dinâmicas requeridas de  $f = 5,2$  Hz e amortecimento de 5% (Cadena *et al.* 2010). Na Figura 11 mostram-se os primeiros modos de vibração da estrutura de suporte (grelha + 25 IDB) da pista de carros bate-bate. Na Figura 12 são apresentados os resultados de simulação das vibrações tendo como base de comparação os resultados experimentais, onde se pode inferir uma redução das maiores amplitudes de vibração da ordem de 50%. O sistema de redução e controle de vibrações constituído pela grelha metálica enrijecida da estrutura original sobre novos apoios isoladores dinâmicos de base (IDB) foi fabricado, instalado e testado com sucesso, não havendo até então reclamação dos lojistas e usuários do centro comercial.

### 4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA SOLUÇÃO PARA VIBRAÇÕES INDUZIDAS PELO CAMINHAR DAS PESSOAS SOBRE OS PAINÉIS DE LAJE

Em outra região do 3º pavimento há uma área destinada à alimentação que contém um balcão em balanço bastante flexível (ver Figura 13). As vibrações produzidas pelo caminhar das pessoas eram significativas e, por isso, procederam-se as medições de vibrações e o estudo de soluções.

Como as frequências fundamentais do caminhar das pessoas estão na faixa entre 1,6 Hz e 2,4 Hz (Bachmann, 1995), o terceiro e quarto harmônico destas frequências está na faixa entre 4,8 Hz e 9,6 Hz. Dessa forma, e como as duas primeiras frequências de vibração das lajes são 5,4 Hz e 7,2 Hz, havia quase-ressonância entre estes harmônicos da força produzida pelo caminhar e uma das primeiras frequências naturais de vibração da estrutura dos painéis de laje. Como a taxa de amortecimento da estrutura é relativamente baixa (menor que 2%, obtido por decremento logarítmico do sinal de aceleração do *heel drop test*), foi escolhida a utilização de dois ADS para o controle das vibrações; cada ADS sintonizado próximo a cada uma das duas primeiras frequências naturais de vibração da estrutura em balanço do balcão.





**Perfis tubulares**

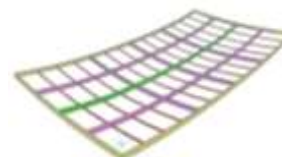
Borda (01): 60x40x1,2mm<sup>3</sup> + 150x50x3mm<sup>3</sup>      Travessas sec. (04): 60x60x1,5mm<sup>3</sup>  
 Longarina (02): 150x50x3mm<sup>3</sup>      Travessas principais (05): 40x40x1,2mm<sup>3</sup>  
 Long. central (03): 60x80x1,5mm<sup>3</sup> + 150x50x3mm<sup>3</sup>      + 150x50x3mm<sup>3</sup>

□ Apoios isoladores dinâmicos: molas e amortecedores MVE internos.

Figura 9. Croquis da solução B: grelha metálica de suporte da pista + 25 IDB.



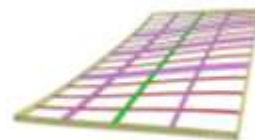
Figura 10. Isolador de dinâmico de base (IDB).



(a) 1º modo ( $f = 4,71$  Hz)



(b) 2º modo ( $f = 5,09$  Hz)



(c) 3º modo ( $f = 5,35$  Hz)

Figura 11. Modos fundamentais de vibração da grelha de suporte da pista sobre 25 IDB.

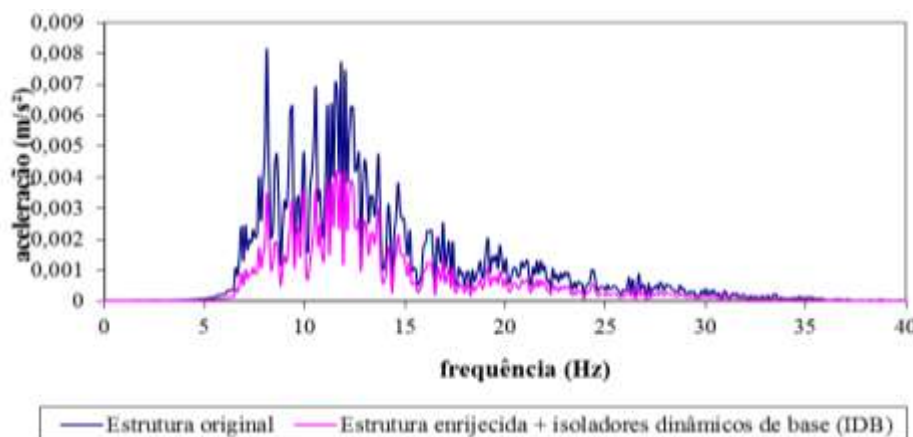
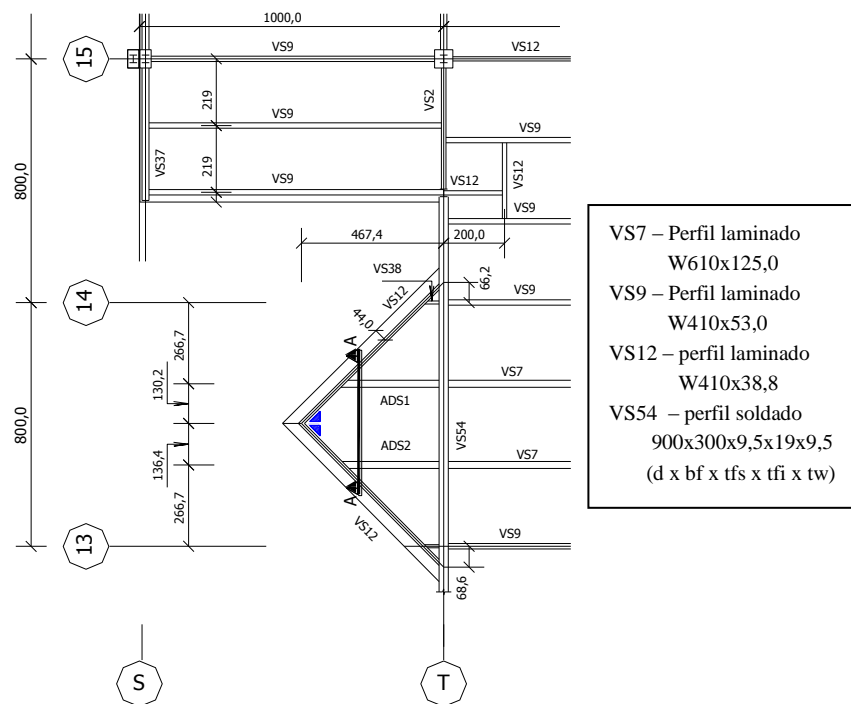


Figura 12. Comparação das respostas da estrutura original e controlada (solução B).



Figura 13. Vista lateral da varanda que apresentava vibrações excessivas.



Medidas em cm. Massa móvel dos ADS: 1 – 200 Kg; 2 – 150 Kg.

CORTE A-A

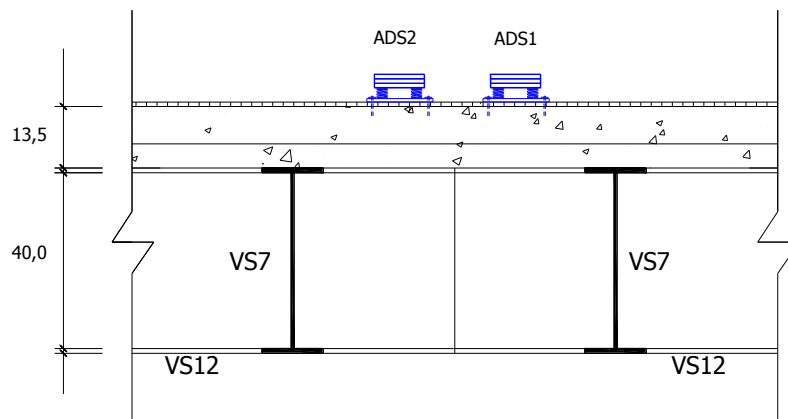
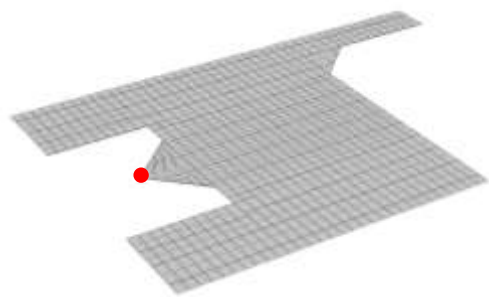


Figura 14. Sistema de controle das vibrações induzidas na estrutura do balcão por pessoas caminhando sobre este e em áreas próximas.

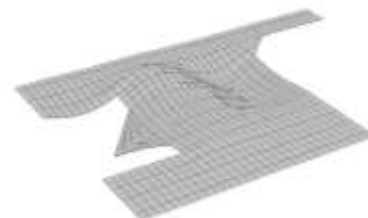


● Ponto de observação dos resultados

Figura 15. Modelo computacional da estrutura na região da varanda.



(a)  $f = 5,9$  Hz



(b)  $f = 7,0$  Hz

Figura 16. Modos de vibração dominantes na resposta da estrutura (região do balcão).

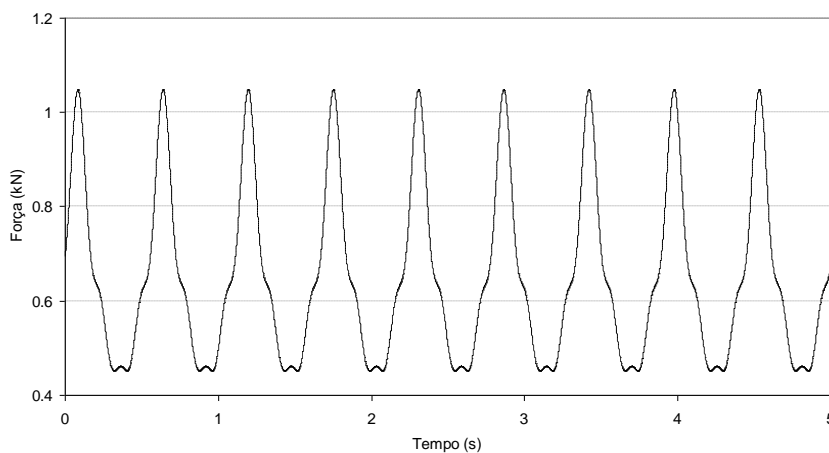


Figura 17. Função força utilizada nas simulações numéricas (pessoas caminhando).

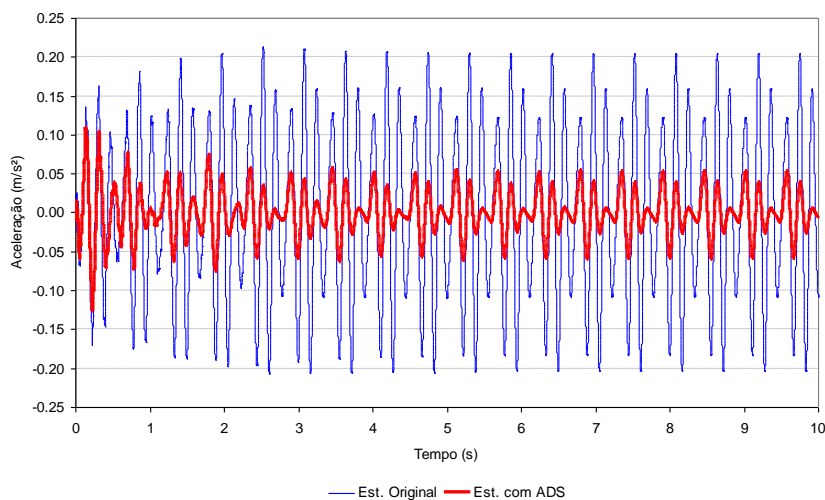


Figura 18. Comparação das respostas dinâmicas da estrutura original e com dois ADS.

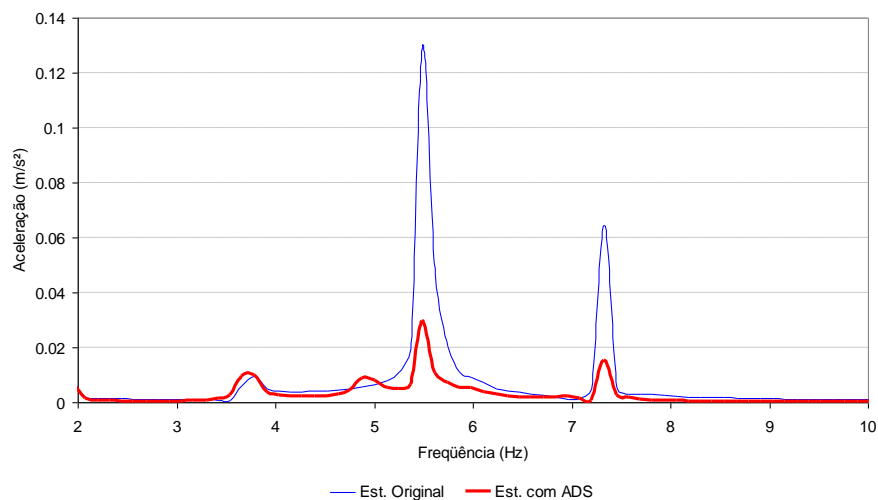


Figura 19. Comparação dos espectros de frequências das respostas da estrutura original e com dois ADS.

O projeto conceitual da solução para este problema é mostrado na Figura 14. Como por facilidade de execução os atenuadores ficariam sobre a laje da varanda, os mesmos ficariam escondidos em vasos. Caso isso não fosse possível, os ADS seriam locados abaixo da varanda, tal como mostrado na Figura 2. A Figura 15 mostra o modelo numérico MEF-3D que contém a região do balcão. Na Figura 16 são mostrados os principais modos de vibração da estrutura nesta região, obtido por meio de programa *Controlmads*. A Figura 17 mostra a função força x tempo aplicada na estrutura para simular pessoas caminhando composta por uma série de Fourier com 4 termos sem pico de calcanhar (Varela, 2004). Nas Figuras 18 e 19 é apresentada a comparação dos resultados das simulações numéricas da solução proposta com e sem controle. Observa-se uma redução da ordem de 70% nas amplitudes de vibrações.

## 5. CONCLUSÕES

Foram apresentadas as análises e soluções de dois problemas de vibrações típicos de estruturas mistas de centros comerciais: vibrações causadas pela operação de equipamentos eletromecânicos de uma estação de jogos e, também, pelo

caminhar de pessoas sobre os painéis de laje flexível.

As fontes, intensidades e faixas de frequências das vibrações foram identificadas por meio de medições experimentais dinâmicas, possibilitando também a calibração de modelos computacionais MEF-3D das regiões mais afetadas da estrutura.

Com esses modelos computacionais foram simuladas diversas soluções para cada um dos problemas identificados, as quais são aqui apresentadas juntamente com os resultados das simulações realizadas, podendo-se inferir a efetividade de cada solução para cada um dos tipos de problema de vibrações.

Pode-se inferir que ambas as soluções propostas para solução do problema de vibrações induzidas pelo tráfego de carrinhos bate-bate são efetivas. A solução A, que envolve a combinação de enrijecimento, laje sanduíche e atenuadores dinâmicos, mostrou-se um pouco mais efetiva que a solução B (solução A até 70% de redução, solução B até 50%) com um sistema de isolamento de base, porém a segunda solução foi a escolhida por ser mais econômica e de implementação mais simples, pois não altera a estrutura do *shopping*.

Pode-se concluir que os modelos matemático-computacionais empregados para simulação das ações e representação das estruturas se mostraram eficientes e

que as alternativas apresentadas e implementadas para o controle de vibrações se mostraram todas eficientes e podem ser utilizadas para resolver problemas similares.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHMANN, H. (1995). *Vibration Problems in Structures – Practical Guidelines*. Institut für Baustatik und Konstruktion, 1<sup>st</sup> ed., Birkhäuser, Basel, Switzerland.

BATTISTA, R.C., VARELA, W.D. (2002). Medidas corretivas para vibrações de painéis contínuos de lajes de edifícios. *Proceeding of XXX Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural*, Brasília, Brasil.

BATTISTA, R.C., PFEIL, M.S. (2010). Control of wind oscillations of Rio-Niterói Bridge. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings*, v. 163, p. 87-96.

BATTISTA, R.C., VARELA, W.D., dos SANTOS, E.F., CORREA, W.C. (2007). *Avaliação e Solução dos Problemas de Vibrações na Estrutura Mista de um Pavimento do Salvador Shopping*. Relatório Técnico CL-225A/07, Controllato Ltda, Rio de Janeiro, Brasil.

BATTISTA, R.C., VARELA, W.D., dos SANTOS, E.F., CORREA, W.C. (2008). *Execução das soluções para redução das vibrações na estrutura mista do piso L3 do Salvador Shopping*. Relatório Técnico CL-309A/08, Controllato Ltda, Rio de Janeiro, Brasil.

BATTISTA, R.C., VARELA, W.D., CORREA, W.C., CORTÁZIO, L.C. (2010). *Atenuação de vibrações induzidas na estrutura do edifício pelos bumper-cars do Game Station*. Relatório Técnico CL-505A/10, Controllato Ltda, Rio de Janeiro, Brasil.

BATTISTA, R.C., VARELA, W.D., SANTOS, E.F., CORREA, W.C. (2012). Controle de vibrações induzidas na estrutura mista de um centro comercial. *Proceeding of XXXV Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural*, Rio de Janeiro, Brasil.

CADENA, J., de SOUZA D.H., CORTÁZIO, L.C. (2010). *Ensaio de rigidez e frequência do conjunto de dispositivos isoladores de base da estrutura dos “bumper-cars”*. Relatório Técnico Interno CL-505A/10, Controllato Ltda, Rio de Janeiro, Brasil.

CORREA, W.L., BATTISTA, R.C. (2006). Redução de vibrações em pontes ferroviárias. *Proceedings of XXVII CILAMCE - Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Belém*.

SANTOS, E.F., BATTISTA, R.C., VASCONCELOS, R.P. (2004). Atenuadores visco-elásticos para redução de oscilações aeroelásticas de edifícios altos. *Proceeding of XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural*, Mendoza, Argentina.

VARELA, W.D. (2004). *Modelo teórico-experimental para análise de vibrações induzidas por pessoas caminhando sobre lajes de edifícios*. Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Brasil.

VARELA, W.D., BATTISTA, R.C. (2011). Control of vibrations induced by people walking on large span composite floor decks. *Engineering Structures*, v. 33, p. 2485–2494.

VASCONCELOS, R.P., BATTISTA, R.C. (2004). Análise numérica de um modelo físico do tabuleiro ortotrópico de uma ponte com material viscoelástico. *Proceeding of XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural*, Mendoza, Argentina.