



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

AValiação da Vibração Gerada pelo Tráfego Rodoviário e Ferroviário no Hospital Universitário de Taubaté

Luiz Antonio Perrone Ferreira de Brito (1); Alvaro Manoel de Souza Soares (2); (3) Bianca Nazari

(1) Dr., Professor do Departamento de Arquitetura, labrito@bighost.com.br

(2) Dr., Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, alvaro@unitau.br

(3) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista do Programa de Iniciação Científica do CNPQ
Universidade de Taubaté, Praça Félix Guisard, 120 – CEP 12020-350 - Taubaté – SP, Tel.: (12) 36254183

RESUMO

Taubaté é uma das mais tradicionais cidades do interior de São Paulo e, atualmente, uma das mais desenvolvidas do Vale do Paraíba e conta com edifícios antigos, como o Hospital Universitário de Taubaté. Grande parte do trajeto da linha férrea que atravessa o centro urbano passa ao lado do hospital paralela à Av. Prof. Luis Augusto da Silva, importante via de ligação com centro da cidade. A vibração é um efeito que deve ser considerado na construção civil, principalmente em edificações próximas a grandes vias de tráfego e ferrovias. As construções que possuem estrutura formal tendem a receber melhor os efeitos da vibração, desde que projetadas para tal. Em contrapartida, as construções antigas e patrimônios históricos, edificados com materiais menos resistentes, em algumas situações mal conservadas, podem sofrer desde rachaduras menores até danos estruturais irreversíveis quando expostas a elevados níveis de vibração. A referência internacional para que sejam estudados os efeitos da vibração em estruturas é a norma DIN 4150-3 (1999) *Vibration in buildings, effect in structures*. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto causado devido vibração induzida pelo tráfego ferroviário e de veículos no Hospital Universitário. Os resultados obtidos indicam que os limites de integridade estrutural são atendidos, mas não os de incomodidade.

Palavras-chave: vibração, avaliação ambiental, patrimônio histórico,

ABSTRACT

Taubaté is one of the most traditional cities within the state of São Paulo and, currently, one of the most developed of Vale do Paraíba and it presents antique buildings, such as the Taubaté University Hospital. Most of the railway route that crosses Taubaté is constructed side by side with Prof Luis Augusto da Silva Avenue an important way to downtown. Vibration is an effect that should be considered in civil construction, mainly in buildings near great traffic lanes and railways. Modern steel or reinforced concrete constructions tend to receive better the vibration effects, as long as they're designed to that purpose. However, ancient and antique constructions and heritages, built in less resistant materials, and in some situations badly preserved, can suffer from tiny cracks to irreversible structural damage when exposed to high levels of vibration. The international reference to study the effects of vibration in structures is the norm DIN 4150-3 (1999) *Vibration in buildings, effect in structures*. The objective of this study is to evaluate the impact caused due to railway and vehicle traffic vibration in Taubaté University Hospital. The results obtained in this work indicate that the limits of structural integrity are lower than normalized criteria and the annoyance limits are higher.

Keywords: vibration, ambient evaluation, heritages.

1. INTRODUÇÃO

O Vale do Paraíba está situado no cone Leste Paulista e o Oeste Fluminense, sendo uma região economicamente importante para o Brasil devido sua grande industrialização na área automotiva, petrolífera, eletro-eletrônica e aeronáutica, característica que o coloca como parte relevante na formação do PIB brasileiro. A forte presença industrial propiciou o rápido crescimento da população, que na sua maioria, se concentra em pólos como São José dos Campos, Taubaté e Volta Redonda. Este processo de crescimento resultou em uma expansão urbana, nem sempre planejada e ordenada, além do intenso deslocamento de pessoas, matéria prima e produtos acabados pelas rodovias e ferrovias da região.

Taubaté é uma das mais tradicionais cidades do interior de São Paulo e, atualmente, uma das mais desenvolvidas do Vale do Paraíba. Foi fundada em 1645, e ainda possui em seu centro histórico casas e edificações dessa época, com estrutura formal em alvenaria, e estilo colonial e neo-colonial. Destas edificações, algumas são tombadas, tais como o conjunto da antiga Companhia Taubaté Industrial - a CTI-, o Solar da Viscondessa de Taubaté, o Convento Santa Clara, a Chácara do Visconde (onde nasceu o escritor Monteiro Lobato), edifícios tombados dos tempos do ciclo do café, além de outros com valor atual, como o Hospital Universitário de Taubaté.

No século 19, o principal meio de transporte de carga e passageiros entre cidades eram as ferrovias. Como as cidades do Vale do Paraíba, naquela época, representavam uma parcela importante de cidades do sudeste devido ao cultivo e exportação do café, foi construída uma ferrovia que unia São Paulo ao Rio de Janeiro, denominada Central do Brasil, cortando o Vale do Paraíba quase que por inteiro. Tinha terminais em Cachoeira Paulista, que ligava ao ramal que dava acesso ao Estado de Minas Gerais, em Taubaté, importante centro produtor de café na época, e em outras cidades. A passagem da ferrovia propiciou melhores condições de desenvolvimento em relação às cidades que estavam distantes de seu trajeto de modo que a tendência de expansão urbana era sempre de aproximação. Gradativamente hospedagens, restaurantes e pontos comerciais em geral se instalaram nas imediações das estações visando o aumento de seus lucros devido à grande movimentação que estas geravam. Deve-se destacar que este processo se repetiu no Vale do Paraíba quase 100 anos depois com a construção da Rodovia Pres. Dutra que liga as capitais dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Até 1998 era feito o transporte de passageiros pela ferrovia sendo que atualmente atende às indústrias da região, transportando areia e cimento, minério de ferro para as siderúrgicas e aço para as montadoras de veículos, entre outros. Grande parte do trajeto da linha férrea que atravessa centro urbano de Taubaté passa ao lado de ruas e construções antigas, principalmente na área onde se localiza o Hospital Universitário de Taubaté.

A vibração, seja ela de fonte sonora ou mecânica, é um efeito que deve ser considerado na construção civil, principalmente em edificações próximas a grandes vias de tráfego e ferrovias, nos estádios e ginásios esportivos, prédios industriais que abrigam equipamentos que geram cargas dinâmicas, pontes e viadutos, entre outros. As construções modernas que possuem estrutura formal em aço ou concreto armado tendem a receber melhor os efeitos da vibração, desde que projetadas para tal. Em contrapartida, as construções antigas e patrimônios históricos, edificados com materiais menos resistentes, como a alvenaria de tijolos de barro, queimados em fornos ou não, e em algumas situações mal conservadas, taipa ou madeira, podem sofrer desde rachaduras menores até danos estruturais irreversíveis quando expostas a elevados níveis de vibração.

O elevado tráfego de veículos pesados ou peso das composições ferroviárias podem também gerar ondas vibratórias que afetarão as fundações das edificações. As fundações das edificações são as responsáveis por descarregar sua carga estrutural no solo e assim garantir a estabilidade. Desta forma, pelo efeito inverso, a vibração que eventualmente se propaga no solo induzirá um deslocamento na fundação, que por sua vez a transmitirá para a estrutura, para piso e paredes, e assim por diante. As fundações pesadas previnem a deformação devido à vibração induzida nas paredes de maneira que as trincas são mais comuns em edificações de estruturas leves. No caso da estrutura ser rígida e apoiada em um solo de baixo amortecimento o deslocamento nas paredes da edificação é praticamente nulo devido à resposta de corpo rígido da estrutura em frequências mais baixas preservando as paredes de trincas. Para estruturas flexíveis apoiadas em solos rígidos os deslocamentos na interface entre solo e estrutura, as fundações, são desprezíveis, mas as paredes deformam, acompanhando a movimentação do solo, o que resulta em trincas (FRANÇOIS, 2007). Caso a frequência de ressonância da estrutura da edificação seja similar a frequência de propagação da onda vibratória haverá amplificação do deslocamento de solo/fundação ocasionando um impacto indesejado. Este efeito pode gerar a incomodidade aos usuários e até danos estruturais. Esta situação é agravada quando acontece o impacto com irregularidades na via. Estas cargas geram ondas vibratórias que se propagam na frequência da excitação até atingir as fundações de residências muito próximas. Solos de baixo amortecimento tendem a transmitir com mais facilidade as ondas vibratórias (BS 7385-1, 1990).

Outro efeito importante gerado pela vibração é o adensamento do solo, principalmente os arenosos, que podem gerar recalques diferenciais que mesmo as estruturas e fundações mais sólidas não são capazes de resistir podendo haver o rompimento. Apenas em condições muito severas, como em solos não coesivos ou arenosos e siltosos de baixa resistência, é possível que haja o acoplamento das ondas vibratórias com as fundações de uma edificação (BS 7385-2, 1993).

Os danos em edificações causados pela vibração vêm sendo estudados nos últimos anos. Karantoni e Bouckovalas (1997) concluíram que os efeitos da vibração em casas de alvenaria são muito mais sistemáticos que nos edifícios de concreto armado, e que a idade dos materiais, os próprios materiais em si e o número de andares também influenciam no processo. Hunaidi (2000) mediu nível de vibração gerada pelo tráfego de ônibus e caminhões, que diferem entre si devido ao sistema de amortecimento. Ele alega que fatores como a condição da rua; o peso, o sistema de amortecimento e velocidade do veículo; o tipo do solo e sua estratificação; a época do ano; a distância da rua e o tipo de edificação são variáveis a ser consideradas quando se mede a vibração induzida pelo tráfego. A tendência da vibração oriunda de veículos pesados é a geração de ondas no solo entre 1 e 80 Hz com uma velocidade da partícula de 0,2 a 50 mm/s, dependendo do tipo e condições da estrada, peso e velocidade do veículo, seu sistema de amortecimento, sendo todos estes fatores independentes e difíceis de serem relacionados. Kirzhner, Rosenhouse e Zimmels (2005) propõem a reposição de solo abaixo da fonte da vibração, no caso deste estudo em particular, uma linha férrea, para atenuar a vibração e o ruído durante a passagem das composições. Concluíram que a compactação de solo rígido abaixo das linhas férreas é suficiente para aumentar o amortecimento. Fraçois *et al* (2006) prevêem modelos tridimensionais para avaliar os efeitos da vibração induzida pelo tráfego em edificações de dois andares, de acordo com o tipo de solo, o modelo da edificação e sua distância até a avenida. Turer e Boz (2007) avaliaram o efeito da vibração no Teatro de Aspendos, em Antalya, na Turquia. Este estudo diz respeito a vibração gerada por terremotos e seus efeitos em algumas partes da estrutura de maneira que se possa prevenir danos futuros e avaliar os já existentes. Este trabalho levou em consideração as características dos terremotos ocorridos no local (como maior gerador de vibração) e fonte sonora dentro do próprio teatro. Os autores desenvolveram um modelo tridimensional do teatro onde foram realizados testes não-destrutivos para entender as respostas dos materiais da estrutura para cada tipo de vibração.

A referência internacional para que se estude os efeitos da vibração em estruturas é a norma DIN 4150-3 (1999) *Vibration in buildings, effect in structures*. Esta separa as edificações em três categorias de análise, com tipologias estruturais, onde especifica as frequências de análise e as velocidades máximas de deslocamento a que podem estar expostas. A Categoria 1 envolve edificações com estruturas de concreto armado e madeira em boas condições (mais resistentes), a Categoria 2 abrange edificações em alvenaria em boas condições, e a Categoria 3 se refere a edificações de alvenaria em más condições de conservação, ou patrimônios históricos. O valor de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) para cada uma destas classificações é dada pela Tabela 1.

Tabela 1 - Limites de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) em (mm/s) segundo a norma DIN 4150-3 (1999) para integridade estrutural.

Tipos de Edificação	PVP (mm/s)
Categoria 1, edificações de concreto armado e de madeira em boas condições	40
Categoria 2, edificações de alvenaria em boas condições	16
Categoria 3, edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificações consideradas de patrimônio histórico	8

Outra referência internacional é a norma ISO 4866 (1990) *Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings*. Esta classifica os danos causados pela vibração como aparentes, no caso de pequenas fissuras no reboco das paredes, de pequena monta no caso de trincas ou desprendimento do reboco das paredes e de grande monta no caso de desprendimento de tijolos ou trincas na estrutura principal da edificação. Entretanto, raramente a vibração induzida pelo solo é suficientemente elevada para ser a causa única do dano, mas contribui para que isso ocorra. As edificações geralmente possuem tensões residuais geradas pela acomodação natural do solo, pela variação da umidade e temperatura e pela falta de manutenção e conservação fatores comuns nas cidades brasileiras. Assim, uma pequena velocidade induzida na estrutura pode acelerar este processo de deterioração. Em alguns casos, quando uma edificação é submetida à vibração por muitos anos, a fadiga estrutural ocorrerá, sendo também causa de deterioração.

A vibração gerada por atividades industriais, rodoviárias e ferroviárias em estruturas e transmitidas aos seus ocupantes, pode também ser abordada pelo critério de incomodidade. A norma ISO 2631-2 (2003) *Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2:*

Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), aborda esta situação. A exposição à vibração nas faixas de frequências inferiores a 40 Hz são transmitidas a braços, mãos, ombro e cabeça enquanto que nas faixas acima de 100 Hz, apenas as mãos são afetadas. A vibração pode ser intolerável para os ocupantes de uma edificação devido à sensação física de movimento que interfere em algumas atividades como o sono, conversação devido à vibração de janelas e movimentação de objetos, além do receio de danos à edificação. Os limites de incomodidade para os ocupantes de uma edificação não são dados na versão de 2003 da referida norma, sendo, portanto, considerado o da versão de 1997 como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 - Limites de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) em (mm/s) segundo a norma ISO 2631-2 (1997) para limites de incomodidade.

Tipos de Edificação	DIURNO PVP (mm/s)	NOTURNO PVP (mm/s)
Hospitais	0,10	0,10
Residências	0,40	0,14
Escritórios	0,40	0,40
Oficinas	0,80	0,80

No Brasil não há uma normalização específica para o assunto sendo que a que mais se aproxima é a norma NBR 9653 (2005) - *Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas* que não aborda o assunto de maneira satisfatória no caso de vibração induzida pelo tráfego ferroviário e de veículos, sendo indicada para situações de detonação e desmonte de rochas. Outra referência pode ser a Decisão de Diretoria nº 215/2007/E (07/11/2007) da CETESB, mas esta se restringe ao Estado de São Paulo e não distingue os tipos de estrutura analisadas conforme dados da Tabela 3

Tabela 3 - Limites de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) em (mm/s) segundo a DECISÃO DE DIRETORIA Nº 215/2007/E, de 07 de novembro de 2007 da CETESB.

Tipos de Áreas	DIURNO PVP (mm/s)	NOTURNO PVP (mm/s)
Área de hospitais, casas de saúde ou escolas	0,3	0,3
Área de predomínio Residencial	0,3	0,3
Área Mista, com Vocação Comercial/e Administrativa	0,4	0,3
Área predominantemente Industrial	0,5	0,5

Patrício (2001) fornece uma definição mais generalista da PVP sendo a percepção humana: 0,3 mm/s; desconforto: 1 mm/s e danos estruturais: 10 mm/s.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto causado devido vibração induzida pelo tráfego ferroviário e de veículos no Hospital Universitário de Taubaté por meio de medição do Pico de Velocidade da Partícula (PVP) e sua comparação com a literatura e normalização nacional e internacional.

3. MÉTODO

O Hospital Universitário de Taubaté se localiza no centro da cidade entre as avenidas 9 e Julho e Prof. Luis Augusto da Silva. As medições foram realizadas na portaria do Hemocentro do Hospital por ser o ponto mais próximo da Av. Prof. Luis Augusto da Silva e da linha férrea que corta o centro histórico da cidade. A Figura 1 ilustra a localização do Hospital Universitário (em branco), da Av. Prof. Luis Augusto da Silva (vermelho), a 2 metros do ponto de coleta, e da linha férrea (amarelo), a 15 metros do ponto de coleta. A Figura 2 ilustra passagem de veículos leves e pesados pela via e a Figura 3 a visada da composição ferroviária estacionada a partir do ponto de medição.

O equipamento utilizado para a aquisição de dados foi composto, por um acelerômetro capacitivo triaxial (modelo MMA1220D *Micromachined* da Motorola) conectado a uma placa de aquisição de sinais (NI USB-6009 da *National Instruments*) ligada a uma porta USB de um computador PC compatível. Para a aquisição dos dados experimentais foi desenvolvido um programa usando a linguagem gráfica de *LabView®*. O acelerômetro foi acoplado a um *pod* metálico com três apoios disposto no piso do pátio do hospital. Os três apoios do *pod* visam um perfeito acoplamento entre o piso e o *pod* de modo que toda a vibração seja transmitida ao acelerômetro, nos três eixos, para que o *software* calcule a velocidade resultante, conforme especificações da norma DIN 4150 -3 (1999).

A confiabilidade do sistema foi testada montando-se, em laboratório, um experimento (ilustrado na Figura 4) consistindo de um *Shaker* (ET-139 *Electrodynamics Transducer from LabWorks®*) sobre o qual foi acoplado o acelerômetro capacitivo (modelo MMA1220D *Micromachined* da Motorola), utilizado neste trabalho, um acelerômetro piezoelétrico (modelo 353B18 da PCB *Piezotronics*), e um potenciômetro linear responsável por medir o deslocamento da base do *shaker*. Após a aquisição dos dados desses sensores os sinais dos acelerômetros, que mede aceleração, foram integrados duas vezes, de forma a se obter o deslocamento, e comparado ao sinal do potenciômetro linear a fim de validar as medidas realizadas. Durante o processo de integração foi utilizado um filtro passa alta para melhoria da qualidade do sinal.

A Figura 5 ilustra o sistema utilizado no momento da aquisição dos dados. As medidas foram executadas durante a passagem de veículos leves e pesados pela via de tráfego e em outro período quando da movimentação da composição ferroviária e dos veículos da via.



Figura 1 - Ilustração da localização Hospital Universitário (em branco), da Av. Prof. Luis Augusto da Silva (vermelho) e da linha férrea (amarelo).



Figura 2 – Visada do tráfego de veículos pela Prof. Luis Augusto da Silva a partir do ponto de medição.



Figura 3 – Composição ferroviária estacionada próximo ao ponto de medição.

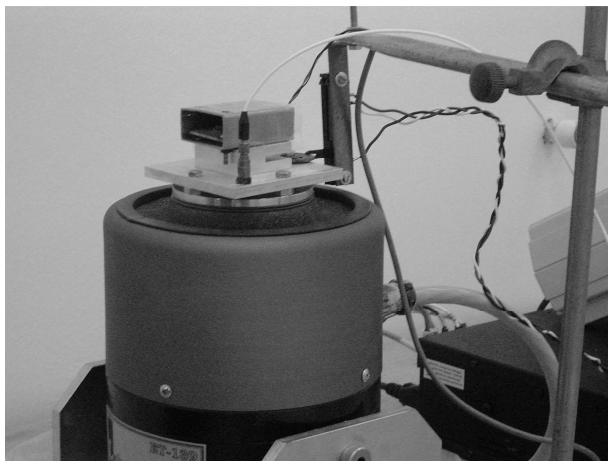


Figura 4 – Acelerômetros e potenciômetro acoplados ao *shaker* para calibração do sistema de medição.



Figura 5 - Equipamento utilizado para aquisição de dados.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 6 ilustra o resultado obtido da aceleração da partícula em mm/s^2 devido à vibração induzida pelos veículos que trafegam na Av. Prof. Luis Augusto da Silva em função do tempo. A Figura 7 ilustra o mesmo parâmetro também com a composição ferroviária em movimento

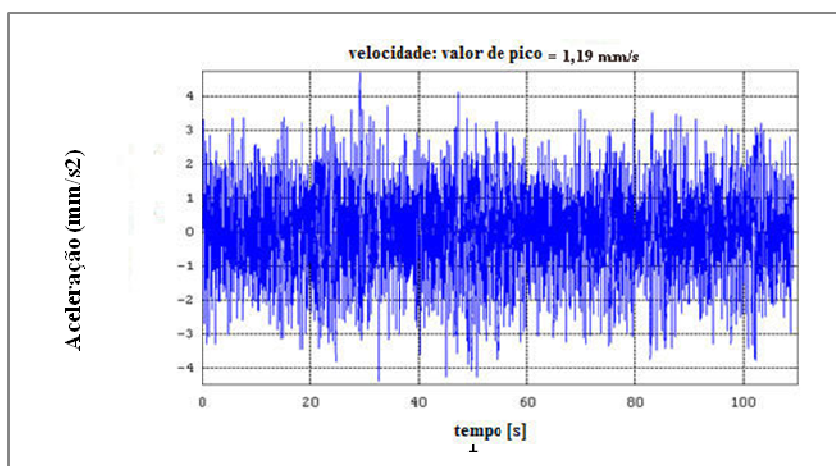


Figura 6 – Valores da aceleração (mm/s^2) em função do tempo devido a vibração induzida pelo tráfego de veículos na Av. Prof. Luis Augusto da Silva.

O Pico de Velocidade da Partícula (PVP) obtido foi de 1,19 mm/s devido ao tráfego de veículos e 1,34 mm/s também com a partida da composição ferroviária. Deve-se destacar que no momento da coleta de dados estas não eram as únicas fontes de vibração em atividade já que as atividades do hospital estavam em pleno funcionamento, como por exemplo, havia um compressor de ar comprimido que intermitentemente entrava em funcionamento. Estes valores satisfazem os requisitos da norma DIN 4150-3 (1999) quanto à integridade estrutural da edificação cujo limite para PVP em edificações antigas é de 8 mm/s . Quanto ao critério de incomodidade os parâmetros da ISO 2631-2 (1997), cujo limite da PVP para hospitais é de 0,1 mm/s , são superados, bem como para os da CETESB DD 215/2007/E (2007), cujos valores são de 0,3 mm/s nos períodos diurnos e noturnos. Os resultados obtidos são compatíveis com os obtidos por outros pesquisadores, como por exemplo, Watts e Krylov (2000), que obtiveram valores de PVP de 0,25 mm/s a 6 m de distância de ruas com tráfego de veículos leves e pesados, inferior ao 1,19 mm/s obtidos a 2 m de distância. Neste caso deve-se considerar a diferença de distância entre as duas situações o que atenua a energia vibratória devido à grande capacidade de amortecimento do solo já que o mesmo está compactado pelo tráfego de veículos na centenária avenida.

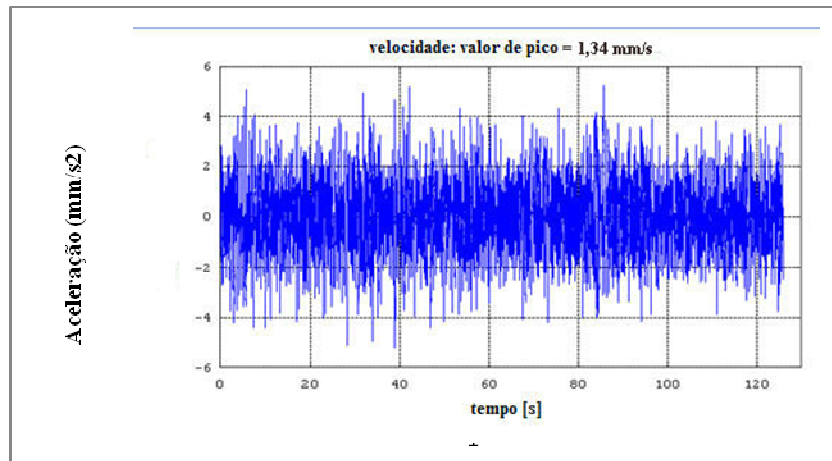


Figura 7 – Valores da aceleração (mm/s^2) em função do tempo devido a vibração induzida pelo tráfego de veículos na Av. Prof Luis Augusto da Silva e pelo tráfego da composição ferroviária.

A norma BS 5228 – 4 (1996) *Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites vibration* fornece uma estimativa da velocidade induzida por várias atividades em função da distância conforme dados da Tabela 4. Esta estima que para o tráfego rodoviário a PVP deve ser em torno de 0,50 mm/s a 2 m da via, sem especificar o tipo de via nem os veículos que nela trafegam. Para o tráfego rodoviário em estradas pouco asfaltadas a PVP decai de 0,40 para 0,05 mm/s em 4 e 8 m de distância da via respectivamente o que confirma a elevada capacidade de amortecimento de solos compactados para vias de tráfego.

Tabela 4 - Ordem de grandeza, PVP, de algumas fontes de vibração função da distância segundo a norma BS 5228- 4 (1997).

Atividade	Distância (m)	PVP (mm/s)
Tráfego Rodoviário	2	0,50
Tráfego Rodoviário	4	0,10
Veículo pesado em estrada pouco asfaltada	4	0,30
Veículo pesado em estrada pouco asfaltada	8	0,05

Klaeboe *et al* (2003) relacionaram a velocidade de vibração em edificações e o potencial de reclamações da população. Por exemplo, considerando os dados da Tabela 4, segundo este pesquisador, a possibilidade de se notar a velocidade de vibração de 0,10 mm/s (tráfego rodoviário a 4 m da edificação) é de 0%, sendo esta velocidade exatamente o limite de incomodidade da norma ISO 2631-2 (1997). No caso de um veículo pesado a 4 m em uma rodovia asfaltada, velocidade de 0,30 mm/s, a possibilidade de se notar a vibração é de 45% mas a chance de reclamação é inferior a 5%, sendo esta velocidade o limite de incomodidade CETESB DD 215/2007/E (2007). A uma distância de 8 m, velocidade de 0,05 mm/s, a possibilidade de reclamação é inferior a 1%. Assim pode-se ver que os critérios internacionais são mais rigorosos que os poucos aqui existentes, já a única referência nacional poderia propiciar certo desconforto aos ocupantes. No caso de PVP em torno de 1,20 a 1,35 mm/s, como os obtidos nas medições realizadas, há uma probabilidade de 68% das pessoas notarem a movimentação do piso e de 16% notarem e se motivarem a fazer algum tipo de protesto ou reclamação. Deve-se destacar que este é um estudo realizado na Noruega onde os padrões de incomodidade da população são diferentes do Brasil.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram coerentes com os encontrados na literatura e normalização, nacional e internacional de modo que o sistema de medição utilizado apresentou uma precisão adequada. A calibração do sistema bem como a utilização do filtro passa alta ajudaram neste processo.

Os valores de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) obtidos mostram que o tráfego de veículos leves e pesados e o deslocamento da composição ferroviária geram ondas vibratórias que impactam a zona limdeira do Hospital Universitário sendo que atendem o critério estrutural da norma DIN 4150-3 (1999), mas ficam

acima do limite de incomodidade dos usuários das normas ISO 2631-2 (1997) e CETESB DD 215/2007/E (2007), apesar de não haver registros de reclamações diretas dos usuários do Hospital Universitário. A diferença entre a PVP gerada apenas pelo tráfego de veículos na Av. Prof. Luis Augusto da Silva e do deslocamento da composição ferroviária não é significativa se considerada a velocidade da partícula da composição. Assim pode-se concluir que a passagem de veículos pela Av. Prof. Luis Augusto da Silva e o deslocamento da composição ferroviária geram velocidades de deslocamento acima da normalização nacional e internacional para o critério de incomodidade, mas atende os critérios de integridade estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9653 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas, 2005.
- BERANEK, L., **Noise and Vibration Control Engineering**, John Wiley and Sons, USA, 804pp, 1992
- BRITISH STANDARD, BS 7385-1, *Evaluation and measurement for vibration in building, Part 1: Guide for measurement of vibrations an evaluation of their effects on buildings*.1990.
- _____, 7385-2. *Evaluation and measurement for vibration in building, Part 2: Guide to damage levels from ground borne vibration*. 1993.
- _____. BS 5228-4. *Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites* Vibration.1996.
- CETESB, Decisão de Diretoria nº 215/2007/E, 2007.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN 4150-3, Vibration in buildings, effect in structures, 1999.
- FIALA P., DEGRANDE, G., AUGUSZTINOVICZ, F. Numerical modeling of ground-borne noise and vibration in buildings due to surface rail traffic, **Journal of Sound and Vibration** v. 301, p. 718–738, 2007
- FRANÇOIS, S., PYL, L., MASOUMI H. R., DEGRANDE, G.; The influence of dynamic soil–structure interaction on traffic induced vibrations in buildings, **Soil Dynamic And Earthquake Engineering**, v. 27, p. 655–674, 2007.
- GAMA, C. DA, PANEIRO, G., Quantificação do descritor vibrações em estudos de impacte ambiental, **I. S. T.**, Lisboa, Portugal. 2006.
- GULHATI, S., DATTA, M., **Geotechnical Engineering**, Mac Graw Hill, 2005.
- HACHICHI, W., FALCONI, F., **Fundações, Teoria e Prática**, 2^o ed. Editora Pini. 2006.
- HAW-JU, S. Finite element investigation of traffic induced vibrations, **Journal of Sound and Vibration**. v. 321, p 837–853, 2009.
- HUNAIDI, O.; TREMBLAY, M., Traffic-induced building vibrations in Montréal, **Canadian Journal of Civil Engineering**. v. 24, p. 736–753, 1997.
- HUNAIDI, O., Traffic vibrations in buildings, **National Research Council of Canada**, 2000.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4866 *Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings*, 1990
- _____, ISO 2631-2 (1997) *Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*, 1997.
- _____, ISO 2631-2 (2003) *Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003
- KARANTONI, F. e BOUCKOVALAS. G., Description and analysis of building damage, due to Pyrgos, Greece earthquake, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**. v. 16, p. 141-150, 1997.
- KIRZHNER, F., ROSENHOUSE, G., ZIMMELS, Y., Attenuation of noise and vibration caused by underground trains, using soil replacement, **Tunneling and Underground Space Technology**, v. 21, p. 561 -567, 2006.
- KLAEBOE, R., TURUNEN-RISE I.H., HARVIK L., MADSHUS C., Vibration in dwellings from road and rail traffic — Part II: exposure–effect relationships based on ordinal logistic regression models, **Applied Acoustics**, v. 64, p. 89 – 109, 2003.
- LOMBAERT, G. DEGRANDE, G., Experimental validation of a numerical prediction model for free field traffic induced vibrations by in situ experiments, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**. v. 21, p. 485 - 497, 2001.
- PANEIRO, G., **Vibrações Admissíveis em Seres Humanos e Suas Repercussões no Projeto de Vias Anti-Vibráteis**. Dissertação de mestrado. **I. S. T.**, Lisboa, Portugal. 2005.
- PATRICIO, J. Vibrações ambientais. Critérios de danos e de incomodidade. Actualidade e perspectivas futuras, in **Tecni Acustica**, La Rioja, Portugal, 2001.
- WATTS, G. R., KRYLOV, V., Ground borne vibration generated by vehicles crossing road humps and speed control cushions, **Applied Acoustics**. v. 59, p. 221 – 236, 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ e a Universidade de Taubaté pelo apoio e financiamento à pesquisa.