

VIBRAÇÃO, SENTIU ? QUAL A ORIGEM E INTENSIDADE ?

Luis Carlos Ribotta ¹; Diego Lapolli Bressan ²

Resumo – Este artigo apresenta resultados de monitoramento sismográfico em quatro casos onde as vibrações foram sentidas pelas pessoas devido a: ocorrências intermitentes, que mesmo sendo de intensidade pequena, é desconhecida a origem e quando conhecida, tem a sensação que os níveis podem ser perigosos para a construção civil. Os valores dos níveis de vibração apresentados nos casos monitorados podem ser maiores em condições diferentes do terreno e da construção, mas suas características auxiliam, por exemplo, na sua identificação (vibrações deixam de ocorrer quando os trens não estão circulando) ou mesmo mostrar que os efeitos das vibrações podem ser sentidos a uma distância grande (vibração em prédio localizado a 900 m da arena de megaevento).

Abstract – This paper presents seismographic monitoring results in four cases where the vibrations were felt by the people due to: intermittent occurrences, that even being of small intensity, the source is unknown and when known, has the sensation that the levels can be dangerous for the construction civil. The values of the vibration levels presented in monitored cases can be higher in different terrain and construction conditions, but their characteristics helps, for example, in their identification (vibrations cease to occur when the trains are not circulating) or even show that the effects of the vibrations can be felt at a large distance (vibration in a building located at 900 m from the megaevent arena).

Palavras-Chave – vibração; estruturas; trens; megaeventos; pavimento.

¹ Fis., MsC, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA - IPT, (11) 3767-4366, ribotta@ipt.br

² Eng., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA - IPT, (11) 3767-4165, bressan@ipt.br

1. INTRODUÇÃO

Pessoas em suas residências ou locais de trabalho podem sentir ou perceber a ocorrência de vibração observando a movimentação de objetos (utensílios domésticos, móveis, equipamentos de escritórios, etc.) ou de paredes, janelas, pisos e telhados.

A vibração dependendo de sua intensidade e repetibilidade pode causar danos nas construções civis, sejam cosméticos, de menor importância como fissuras em alvenarias ou estruturais, que ensejam maior importância dada a segurança dos usuários. As vibrações como regra geral, também geram desconforto às pessoas e podem provocar incômodo excessivo e até mesmo pânico.

Um dos fatores que traz preocupação para as pessoas é não conseguir identificar a fonte geradora da trepidação e quando identificada, se o valor de sua intensidade pode gerar algum tipo de dano.

Neste trabalho serão apresentados alguns exemplos de vibração, cujo monitoramento instrumental possibilitou definir sua origem e quantificação, definindo o risco de danos e incômodo, considerando critérios definidos em normas técnicas nacionais e internacionais.

2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO MONITORAMENTO

Para o registro das vibrações foram utilizados sismógrafos de engenharia digitais triaxiais, cujos sensores eram transdutores de velocidade, dispostos tri-ortogonalmente, instalados no terreno ou no piso da estrutura (prédio) de modo a serem medidas as componentes de vibrações nas direções vertical (V), longitudinal (L) e transversal (T), em relação à direção de propagação das ondas sísmicas.

Os sismógrafos foram previamente programados para permanecerem em condição de espera (*stand by*) até que uma perturbação atingisse o nível de disparo (*trigger*) programado. O registro ocorreu durante um intervalo de tempo definido na programação, de modo que, quando concluído o evento, o instrumento retornou a sua posição de espera. Os dados registrados foram armazenados em memória RAM, os quais transferidos para um PC foram processados com a aplicação do *software* de análise fornecido pelo fabricante do sismógrafo.

Para cada evento, as informações que regem o funcionamento do equipamento e identificações foram: data e horário, nível de gatilho, duração do registro e nome do arquivo, fabricante, modelo e número de série do equipamento; e espaço para indicação do local da instalação, cliente, operador do sismógrafo e informações gerais.

Outro bloco consta as informações relacionadas aos resultados: pico de velocidade de vibração de partícula, frequência, tempo em relação ao disparo, os picos de aceleração e de deslocamento e verificação do sensor para as três componentes (T, V e L), bem como a resultante real máxima da velocidade da partícula (v_{Rmax}) e o seu tempo de ocorrência.

No modelo utilizado, o programa de análise fornece dois gráficos contendo:

- critério de danos: gráfico que fornece a curva da velocidade de vibração de partícula em função da frequência, indicando os patamares abaixo dos quais não há risco de danos estruturais. Nos monitoramentos foi adotado o critério apresentado pela Norma DIN 4150 – parte 3; e
- forma das ondas (sismograma): registro do evento sísmico em função do tempo com as respectivas escalas para as componentes do geofone.

3. CASOS DE VIBRAÇÕES MONITORADAS

3.1. Circulação de trens

Num edifício comercial de 16 pavimentos (2 subsolos, térreo e 13 pavimentos tipo), localizado em avenida situada ao lado do Terminal Rodoviário da Barra Funda, São Paulo, capital, foi reportado que as trepidações eram sentidas todos os dias, várias vezes, sem nenhum padrão

quanto aos horários de ocorrência e intensidade e observadas em vários andares do prédio, sendo que as maiores reclamações foram feitas pelos condôminos do 6º, 11º e 12º andar.

O monitoramento foi realizado no 2º subsolo (determinar o nível das vibrações que chegavam nas estruturas do edifício), 5º, 11º (em ambas as extremidades do edifício), 12º andar e na cobertura (temporariamente), onde os sismógrafos foram instalados próximos a um pilar estrutural do edifício, visando avaliar a transmissão das vibrações pelo prédio.

A auscultação sísmica foi prevista inicialmente para ser realizada por 2 dias e, avaliando o comportamento das vibrações, foi estendida por um período de 40 dias, onde os principais resultados foram:

- o funcionamento dos conjuntos de bombas utilizados para encher as caixas d'água, sistema de ar condicionado e dos motores dos elevadores não provocaram vibrações;
- o monitoramento no 2º subsolo mostrou que praticamente não foram registrados eventos e que os poucos detectados atingiram $v_{Rmax} = 0,65$ mm/s, com $v_{T,L,V,max} = 0,5$ mm/s (limite de detectabilidade do sismógrafo);
- as distribuições do número de eventos, para os pontos no 5º, 11º e 12º andar, mostraram $v_{Rmax} = 1,7$ mm/s, predominando $v_R < 1,2$ mm/s e frequências entre 10-18Hz, com predomínio de 12 Hz.

A Figura 1 mostra em relação ao critério de danos da Norma DIN4150 o intervalo de distribuição dos valores predominantes destes parâmetros, onde os níveis das vibrações ficaram abaixo do limite de segurança para edificações consideradas delicadas e bem inferiores ao limite para construções residenciais, seja para os valores obtidos na fundação, bem como para o dos demais andares (principalmente o 11º e 12º andar), estando dentro do limite que não provoca danos estruturais;

- outro tipo de análise que deve ser realizada, refere-se aos efeitos das vibrações nas pessoas, que podem perceber níveis bem menores do que aqueles que começam a provocar danos nas construções ou que as mesmas se tornem incômodas.

A resposta humana às vibrações nas construções é muito complexa, difícil de qualificar e depende de vários fatores: amplitude, frequência, tempo de exposição, efeitos secundários (por exemplo: ruídos de portas e janelas), fatores socioeconômicos, posição do indivíduo (em pé, sentado, deitado), atividade em execução quando ocorrem as vibrações, condições pré-existent (por exemplo: ocorrência anterior de vibrações com níveis preocupantes), intensidade das vibrações rotineiras no local, periodicidade das ocorrências, dentre outros.

Várias instituições desenvolveram normas (por exemplo DIN 4150, ISO 2631, Building Research Station, CETESB, dentre outras) com escalas de percepção das vibrações, de acordo com critérios que consideram alguns dos fatores mencionados anteriormente, cuja aplicação demanda de um monitoramento detalhado das vibrações.

A sensação produzida pela vibração depende de sua amplitude e frequência. De uma forma simplificada, em termos da velocidade de pico de partícula, o limite de percepção corresponde a uma velocidade de 0,3 mm/s, nitidamente perceptível acima de 1 mm/s, incomodativa (perturbadora) se exceder 2,5 mm/s e desagradáveis acima de 7,5 mm/s, para frequências de vibração em torno de 10 Hz.

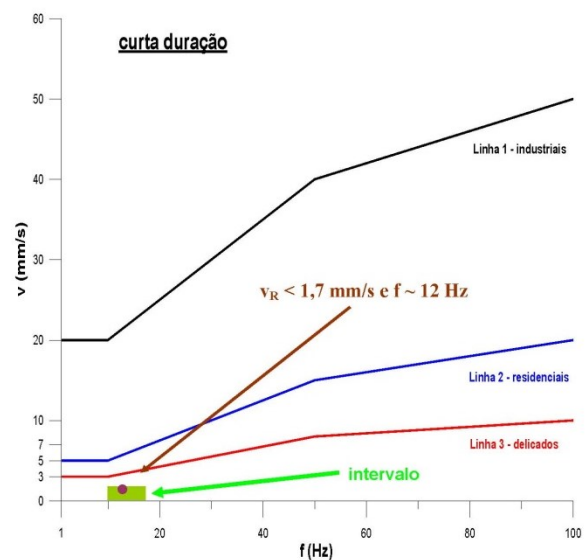


Figura 1 – Distribuição dos níveis de velocidade de partícula resultante e frequência de vibração

Neste monitoramento foram registrados vários eventos com $v_R > 1$ mm/s diariamente, distintamente perceptíveis, principalmente pelos condôminos que estão nos andares superiores da edificação, provocando assim um certo desconforto.

- existe diariamente um período entre 0 h e 40 min e 4 h e 30 min que não é registrada vibrações, fato observado nas distribuições temporais mostradas na Figura 2.

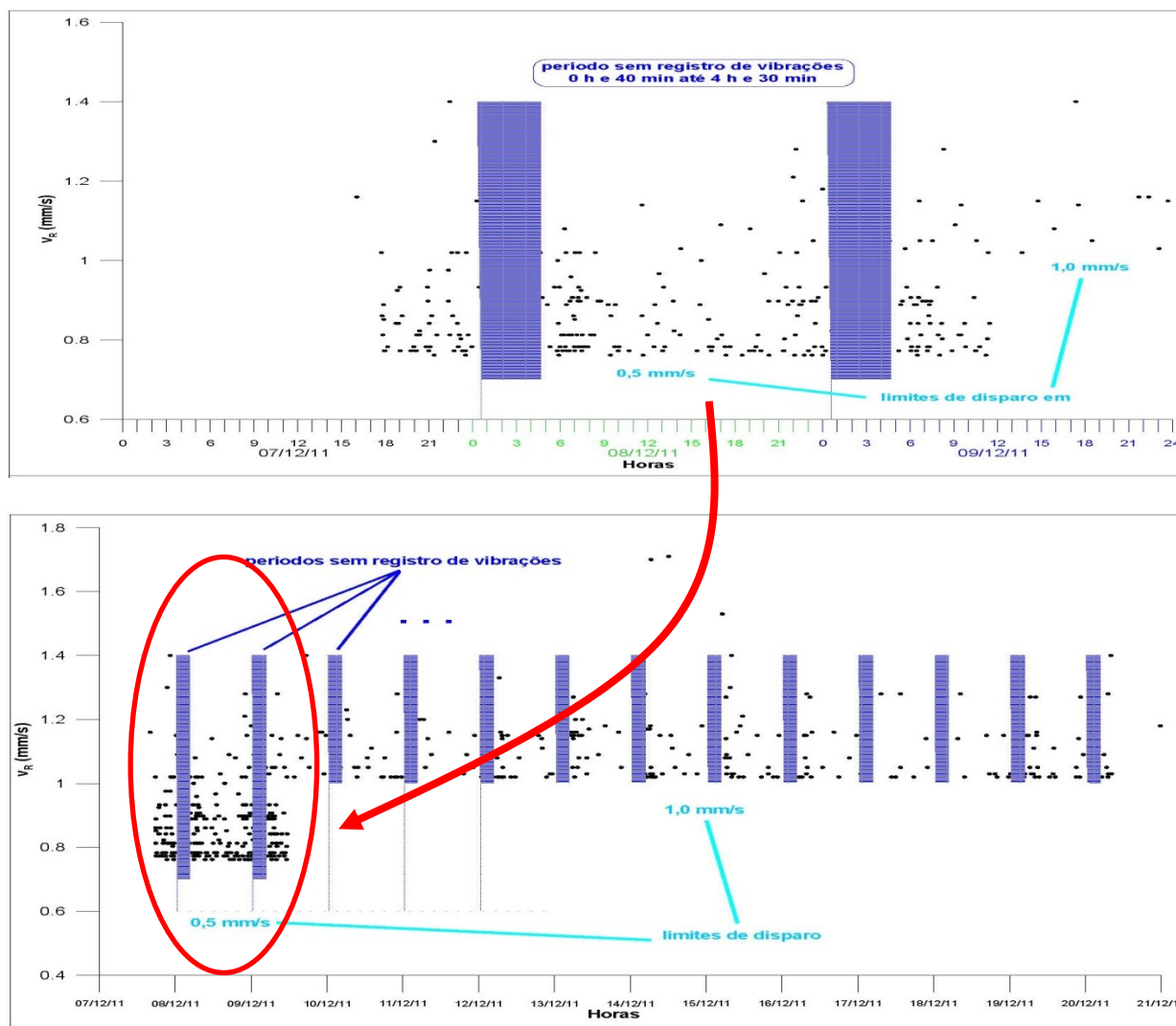


Figura 2 – Intervalos de tempo sem o registro de vibrações observados no monitoramento realizados no 11º andar

Numa avaliação do entorno do condomínio, possíveis fontes externas geradoras de vibrações seriam a circulação de veículos pesados (ônibus e caminhões, principalmente na avenida em frente ao prédio) e a de trens do Metrô e da CPTM.

Durante o monitoramento, equipe técnica na cobertura do edifício, com a passagem de ônibus e dos trens da CPTM não observou o registro de eventos no sismógrafo.

Com a passagem de determinados trens do Metrô era observado o registros de eventos.

O traçado da linha do Metrô passa praticamente embaixo da edificação e a circulação dos trens para no mesmo horário que as vibrações deixam de ser registradas.

Estes fatos são indicativos que a origem das vibrações está associada com a circulação dos trens do Metrô.

3.2. Atividade humana gerando a vibração

Atividades realizadas num complexo esportivo estavam gerando vibrações, com desconforto aos usuários e uma preocupação quanto às condições de segurança estrutural da edificação.

A edificação possui 5 pavimentos, cuja estrutura em concreto armado, é constituída de pilares e vigas, moldados “in loco” e lajes compostas basicamente por vigotas pré-moldadas. Os elementos de fechamento (alvenarias/paredes) são compostos de blocos de concreto.

O monitoramento sismográfico foi realizado nos pisos do 3º e 4º pavimentos durante a realização de atividades físicas nestes pavimentos e, inclusive, no 1º pavimento.

Os equipamentos foram dispostos da seguinte maneira: três unidades no 4º pavimento, sendo um instalado na parte central do painel de laje, outro no meio do vão de viga e o terceiro próximo à região de ligação entre viga e pilar e uma unidade no 3º pavimento, próximo à região de ligação entre viga e pilar, correspondente aquele instalado no pavimento superior.

No primeiro dia foi realizado monitoramento com uma classe de 35 alunos no 4º pavimento, executando vários exercícios praticados nas aulas de educação física (corrida normal, com pulos, em grupo e sentidos alternados com término em pulos ou freadas bruscas), considerados os que provocariam maiores níveis de vibrações. No segundo dia foram realizados os mesmos exercícios no 3º pavimento e por uma classe de 60 alunos. Neste dia, em conversa com o professor, foi informado que aulas no 1º pavimento também provocam vibrações no 3º e 4º pavimentos. Assim, para finalizar os trabalhos, foram monitoradas as vibrações nestes pavimentos causadas pelas atividades físicas realizadas no 1º pavimento.

Para a determinação das frequências próprias mais baixas da estrutura, que estão associadas a um dos painéis de lajes, a excitação da estrutura foi realizada com a queda livre de um saco de lona cheio de areia, cujo impacto excitaria uma faixa ampla de frequências, de forma que a análise do sinal sísmico no domínio da frequência possibilitou identificar as frequências próprias de oscilação da estrutura.

Nesta auscultação sísmica foram obtidos os seguintes resultados:

- as atividades das aulas de educação física induziam vibrações no próprio pavimento onde estavam ocorrendo os exercícios e também nos demais pavimentos do prédio;
- os níveis de vibrações eram maiores na parte central do painel da laje, seguido pelo meio de vão de viga e bem menores nos pontos próximos aos pilares;
- de acordo com a norma DIN4150, o v_{Vmax} (9,5 mm/s; predomínio de $v_v < 8-9$ mm/s) está abaixo dos limites admitidos para vibrações que podem provocar danos em construções comerciais e industriais, ou similares, cujos valores são de 20 mm/s para vibrações de curta duração;
- nas componentes horizontais, os valores de vibração foram muito pequenos, ficando abaixo dos limites indicados pela DIN4150;
- exercícios no 1º pavimento induziram vibrações no 4º pavimento, cujo $v_{Vmax} = 0,9$ mm/s e para a $v_{L,T}$ predominante foi de 0,4 mm/s. Não foi possível determinar com precisão os valores das frequências destes eventos em função de suas características e do baixo valor das velocidades de partícula;
- para a determinação das frequências próprias de um dos painéis de laje, foi executado ensaio que consistiu na queda de um saco de areia com 43 Kg, numa altura de 0,75 m e distante 1 m do sismógrafo de engenharia. Estes valores foram adotados de forma a produzir níveis de respostas apenas suficientes para os cálculos das frequências próprias sem impor quaisquer danos à estrutura.

Os resultados em termos do espectro de potência (EPv), onde se resume os valores das frequências próprias da estrutura, foram identificados 4 picos de amplificação máxima de resposta para as frequências: 9 Hz, 13 Hz, 27 Hz e 33 Hz, como mostra a Figura 3;

- as frequências predominantes das vibrações ficaram em torno de 10–12 Hz, que coincidem com o primeiro valor da frequência própria do painel de laje avaliado (9 Hz – 13 Hz). Esta coincidência de valores possibilita o aumento dos níveis das vibrações (ressonância);

- uma avaliação dos efeitos das vibrações nas pessoas, considerando os níveis de velocidades de partícula, mostrou que atingiram o limite de percepção clara em todas as situações monitoradas e situações onde ocorreram níveis incômodativos e desagradáveis, para pessoas estando em pavimentos contíguos e no próprio ao dos exercícios, como mostram os limites de percepção humana apresentados no item 3.1 deste artigo.

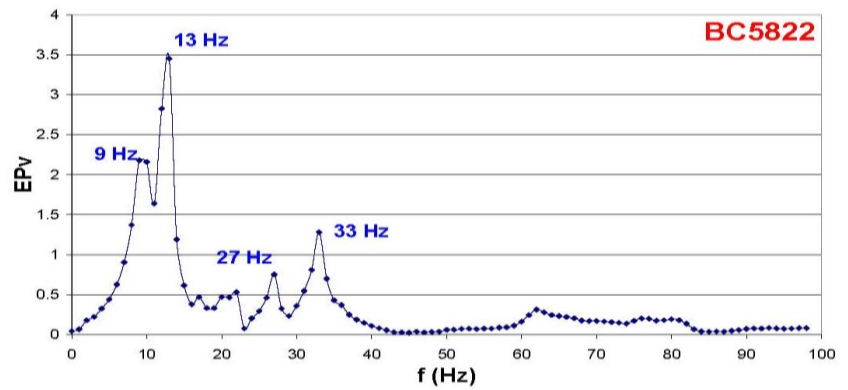


Figura 3 – Análise espectral do registro da queda de um peso para determinação das frequências próprias da estrutura

Com base nos resultados deste monitoramento foi recomendada que fossem realizados reforços na estrutura da laje dos pavimentos de forma a alterar a frequência natural desses elementos estruturais e reduzir o desconforto aos usuários. Outra recomendação foi a do emprego de isoladores nos pisos para minimização dos efeitos oriundos das atividades físicas realizadas na edificação.

3.3. Irregularidade em pavimento

Nesta situação são apresentados os resultados do monitoramento decorrentes de vibrações sentidas, originadas por irregularidade em pavimento de duas avenidas na cidade de São Paulo.

O **primeiro caso** refere-se a pequenas vibrações sentidas no 3º (último) pavimento do prédio Adriano Marchini do IPT, na sala dos diretores e salas vizinhas, que começaram a ocorrer após a liberação da Av. Prof. Almeida Prado ao tráfego de veículos, após a reforma da pista.

O monitoramento foi executado com a instalação de um sismógrafo na parte central da sala dos diretores, local onde estavam sendo sentidos os maiores efeitos das vibrações e outro, no piso térreo, para avaliar o nível das vibrações próximas às estruturas do edifício.

O sismógrafo instalado no piso térreo não registrou nenhuma vibração com $v_R > 1$ mm/s, limite definido para o disparo do registro de eventos neste ponto.

As vibrações no 3º pavimento atingiram $v_{Rmax} = 2,54$ mm/s, com um predomínio $v_R < 1,6$ mm/s e níveis próximos a 0,5 mm/s, como mostra a Figura 4. De acordo com a norma DIN4150, o nível

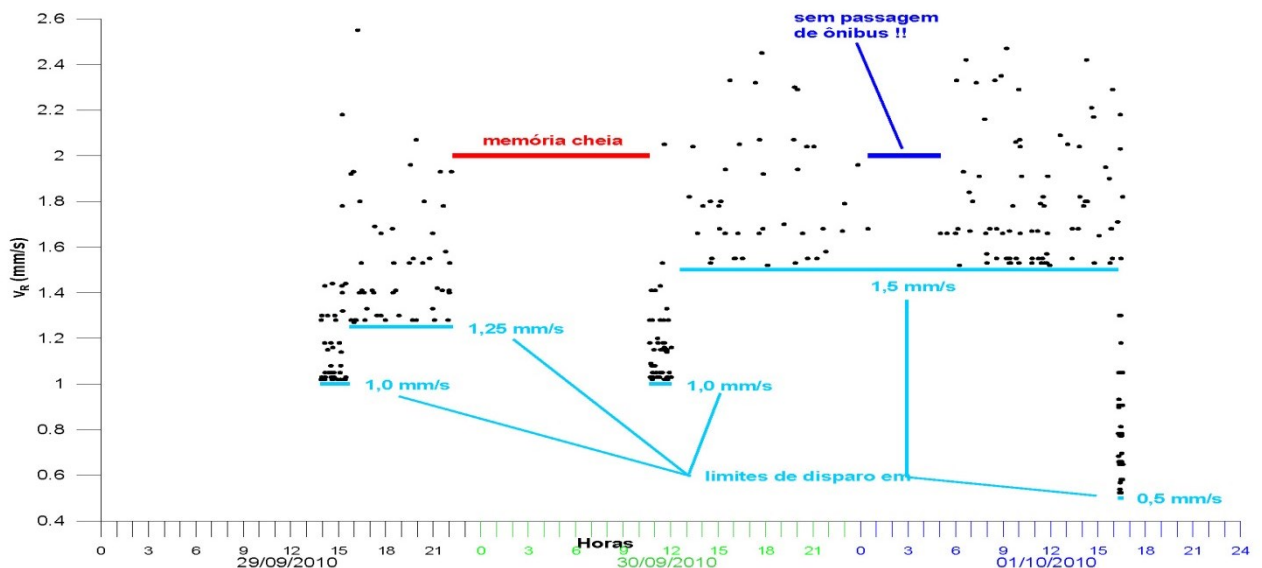


Figura 4 – Distribuição temporal do nível da velocidade de partícula resultante

das vibrações está abaixo dos limites admitidos para vibrações que podem provocar danos em construções comerciais e industriais, ou similares, cujo valor é de 20 mm/s para vibrações de curta duração.

A Figura 5 mostra que os valores das frequências estão distribuídos entre 10 Hz e 13 Hz, predominando valores no intervalo de 11,0 Hz e 11,5 Hz.

O disparo do registro dos eventos ocorre quando veículos passam na linha de transição situada junto ao prédio Adriano Marchini entre os dois tipos de pavimentos (um de blocos intertravados de concreto e outro em laje de concreto, respectivamente, o lado A e B na Figura 6) existente na Av. Prof. Almeida Prado. Ressalta-se que no período entre 0-5 h, quando não tem a circulação de veículos (principalmente os ônibus), as vibrações deixam de ocorrer como pode ser visto na Figura 4.

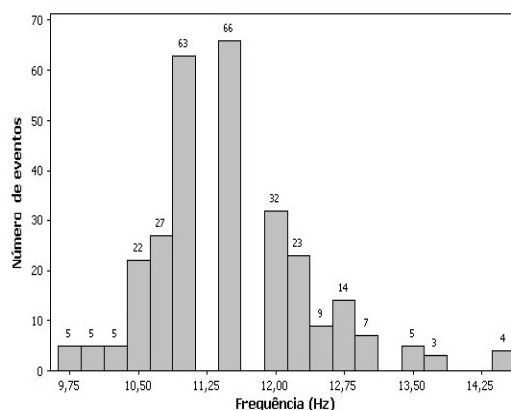


Figura 5 – Distribuição do número de eventos em função da frequência da vibração para a componente vertical de registro

Em visita a este local, observou-se um desnível existente na transição dos dois tipos de pavimento, que é basicamente decorrente da diferença de rigidez entre essas regiões, observando-se que, enquanto o pavimento de concreto (laje armada) praticamente permaneceu em sua posição original, o de blocos intertravados sofreu afundamento. O desnível existente provoca impacto na passagem das rodas dos veículos, gerando vibrações que são transmitidas à edificação em questão. Quanto maior a massa e velocidade do veículo, maior foi a intensidade do impacto produzida.

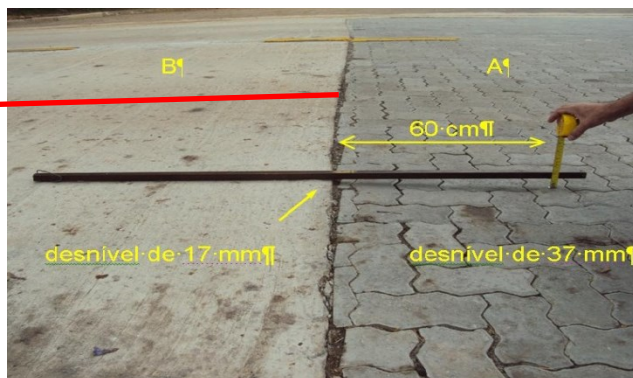
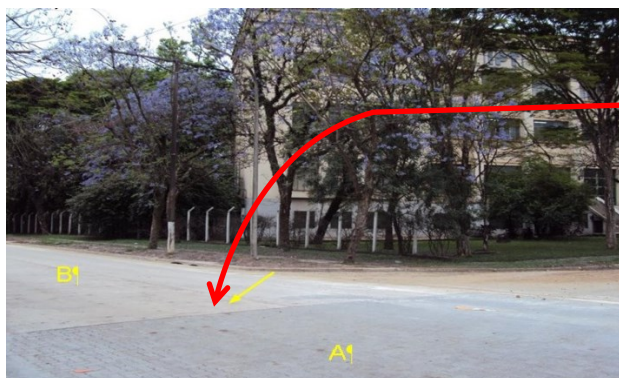


Figura 6 – Linha de transição entre os tipos de pavimentos e o desnível entre eles

A área monitorada, e onde há maior reclamação, situa-se mais próxima da avenida e da linha de transição dos pavimentos, colaborando no sentido de apresentar os maiores níveis de vibrações. O fato de estar ocorrendo vibrações com níveis acima de 1,0 mm/s (perceptíveis) onde a presença das pessoas é praticamente contínua, com uma atividade “tranquila” e um número grande de ocorrência (várias vezes ao dia), causa certo desconforto humano.

Numa inspeção realizada no prédio foram observadas fissuras, de pequena abertura, em paredes das salas da Diretoria Executiva e do Conselho e nas fachadas do prédio, que provavelmente se restringem ao revestimento de argamassas e serem antigas, que não afetam a segurança estrutural da edificação e não devem ter relação com as vibrações observadas.

O **segundo caso** a ser avaliado refere-se a uma edificação composta por 22 pavimentos, térreo onde se encontra o jardim sobre as garagens do único subsolo e 18 pavimentos tipos e cobertura, situado a 50 m da Avenida 9 de Julho.

As vibrações foram sentidas por vários condôminos quando estes estavam na área do jardim do edifício (entre o hall social e a portaria), com a passagem de veículos pesados na Avenida 9 de Julho e que nos andares da edificação não foram observadas vibrações.

Para confirmar as informações citadas, foram auscultados 5 locais: subsolo (avaliar o nível das vibrações que chegavam nas estruturas da edificação), 11º pavimento (monitorar a parte cen-

do edifício), 20º e 21º pavimento (avaliar o ponto mais alto) e na área do jardim.

No monitoramento sismográfico foi confirmado que as vibrações não estavam associadas com o funcionamento das bombas utilizadas para encher as caixas d'água e ao funcionamento dos elevadores. A passagem de vários tipos de carros, furgões e de caminhão guincho (para carros) em frente ao condomínio não disparou os sismógrafos, principalmente aquele instalado na área do jardim.

Como resultado obteve-se:

- na estrutura do edifício, os valores que chegaram foram menores do que 0,3 mm/s e as vibrações transmitidas pelas estruturas atingiram valores limites da ordem de 0,4-0,5 mm/s no 20º e 21º pavimento;
- na área do jardim, os níveis de vibração foram inferiores a 0,7 mm/s (60 %), mas ocorreram vários valores superiores a 1,0 mm/s (25 %) e chegaram a atingir 2,4 mm/s, como mostra a Figura 7;
- as frequências de vibração variaram entre 9 Hz e 17 Hz, com predomínio de 11 Hz;
- os níveis das vibrações, mesmo aqueles na área do jardim, foram bem inferiores aos limites para construções residenciais, estando abaixo dos limites que provocam danos estruturais, de acordo com o critério de danos apresentado na norma DIN 4150;
- na área do jardim ocorreram valores predominantemente próximos dos limites de percepção humana, vários acima do valor considerado "nitidamente perceptível" e o limite superior ficou próximo ao nível considerado "incômodo/perturbador";
- verificou-se que as vibrações ocorriam quando passavam veículos pesados (ônibus e caminhões) na Avenida 9 de Julho, tanto no sentido do centro da cidade como na do bairro, nas pistas laterais e numa das faixas da pista que continha irregularidade no asfalto do pavimento, como mostra a Figura 8.

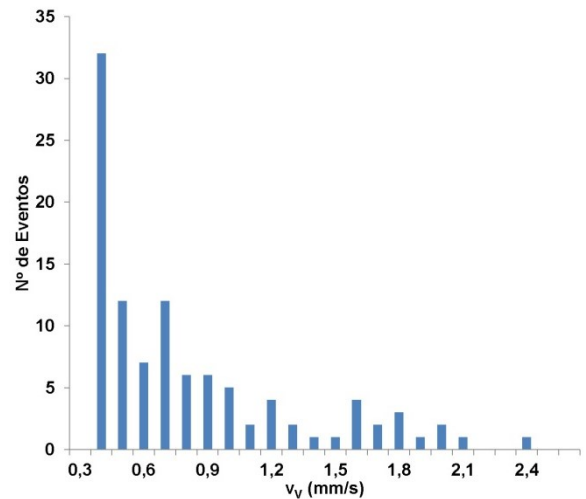


Figura 7 – Distribuição do número de eventos em função da velocidade de partícula no ponto do jardim



Figura 8 – Irregularidades observadas no asfalto da Avenida 9 de Julho

3.4. Realização de megaeventos

Para exemplificar que a realização de megaeventos também geram vibrações são apresentados 3 casos de monitoramento em prédios realizados pelo IPT:

Praia Grande, SP, Carnaval de 1998: monitoramento nos andares superiores (8º a 14º). na sua grande maioria não excedeu a 1 mm/s, alguns eventos atingiram valores entre 1,0-1,5 mm/s e excepcionalmente um atingiu o valor de 2,98 mm/s (8º andar; 870 m da arena). Em todos os casos a frequência predominante ficou abaixo de 5 Hz. Os baixos valores das frequências favoreceram a percepção das vibrações, mesmo com os níveis das intensidades pequenos.

Segundo a opinião pública, este monitoramento não representava os shows de grande movimento de massa humana, como pode ter acontecido em outras atrações artísticas desta natureza.

Praia Grande, SP, Férias de 1999: monitoramento de 2 shows com aproximadamente 20.000 e 12.000 espectadores, na mesma área dos trabalhos de 1998. A pista de dança estava diretamente na areia da praia. Monitoramento na superfície do terreno junto aos prédios não registrou vibrações com valores superiores a 2 mm/s, passando a ser auscultado os andares superiores dos edifícios. A v_{Rmax} foi de 12,95 mm/s e 12,45 mm/s, respectivamente para o 1º e 2º show, no mesmo local para ambos (9º andar, 540 m da arena). As velocidades predominaram valores menores do que 5 mm/s, alguns próximos deste e os 2 anteriores que ultrapassaram o limite de segurança. Quando o público era instado a pular, iniciavam-se os efeitos vibratórios nas estruturas dos prédios. As frequências foram baixas, com valores menores do que 5 Hz e predomínio entre 2-2,5 Hz. Equipe técnica, no local onde foram registrados os maiores níveis de vibração constatou que as mesmas eram perfeitamente observáveis, materializada nas oscilações da superfície d'água num aquário, no balanço da lâmpada pendurada no teto da sala e no vai-vem do conjunto mesa-ferro de passar roupa.

Caraquatuba, SP, Férias de 2009: foram monitorados 2 prédios, um a 90 m da arena do show (separado pela avenida da praia) e outro a 160 m (atrás do primeiro para avaliar a atenuação das vibrações). A pista de dança em local concretado com uma espessura da ordem de 20 cm. O primeiro prédio teve níveis de vibração predominantemente pequeno ($v_{Rmax} < 3$ mm/s) e alguns próximos do limite de segurança ($v_{Rmax} = 5,4$ mm/s) e o no outro valores aquém ($v_{Rmax} = 1,8$ mm/s), de acordo com a norma DIN4150. Quanto ao incômodo das pessoas foi classificado como perceptível, perturbadora ou incômoda e distintamente perceptível, respectivamente, para o 1º e 2º edifício. Os baixos valores de frequência (em torno de 3-6 Hz) favoreceram esta percepção e também poderiam estar agravadas pela possibilidade de *shows* realizados anteriormente terem atingido valores mais significativos, criando um estado de apreensão nos moradores. Foram verificadas a existência de fissuras na argamassa de revestimento em todos os andares, as quais não sofreram alterações com a realização do show.

3.5. Máquinas e equipamentos

Máquinas e equipamentos instalados em edifícios ou construções comerciais podem produzir vibrações em locais contíguos as suas instalações, a citar, por exemplo, máquinas dos elevadores, prensas utilizadas na forja de peças, rolos compressores utilizados na compactação de terrenos.

A seguir, à título de ilustração, é apresentado o caso de vibrações sentidas pelos trabalhadores e usuários de um centro comercial onde filmes eram exibidos em salas do tipo 4D, com poltronas que simulam queda, vibração, balanço, aceleração e frenagem, com tela grande e som de alta potência, acrescentando ao expectador efeitos especiais de acordo com as cenas do filme.

Os locais monitorados foram no piso de suporte das poltronas, circulação e acesso ao cinema e em área imediatamente inferior a sala do cinema.

Na área da sala do cinema e na parte externa foram registrados $v_{Rmax} = 1,02$ mm/s e 0,47 mm/s, respectivamente. As frequências de vibração das estruturas ficaram entre 5-7 Hz. Estes valores, do ponto de vista da segurança das estruturas da edificação, possuem níveis muito abaixo de limites estipulados em normas e são insuficientes para causar danos.

Os picos de vibração acima dos níveis de desconforto estavam diretamente relacionados com o tipo do filme e a cena em exibição. Embora na área do cinema os valores fossem maiores, os usuários não apresentavam reclamação visto que a função das poltronas e do som era proporcionar ao expectador efeitos relacionados com vibrações.

4. CONCLUSÕES

As pessoas começam a sentir os efeitos das vibrações mesmo quando os níveis são inferiores àqueles que podem causar danos cosméticos nas construções civis.

Mesmo que em níveis pequenos, mas ocorrendo com alguma repetibilidade e em algumas situações com a origem indeterminada ou se sua origem é conhecida, mas se tem a sensação que os níveis podem ser perigosos para a construção civil, comumente gera incômodo para as pessoas.

Embora os exemplos apresentados não tenham induzido danos às estruturas civis e sim, uma condição de incômodo, na ocorrência de vibrações deve ser procurado os órgãos competentes para uma avaliação técnica.

Os exemplos apresentados procurou mostrar que uma análise das características de ocorrência da vibração podem identificar a sua origem (por exemplo, o não registro de vibrações no período de não funcionamento dos trens) ou mesmo mostrar que os efeitos das vibrações podem ser sentido a uma distância grande (por exemplo, vibração em prédio localizado a 900 m da arena de megaevento).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IPT pela permissão em participar deste Congresso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROCH, J. T. 1976. *Mechanical vibration and shock measurements, the application of the Brüel & Kjaer measuring systems*. Brüel & Kjaer, Dinamarca, 309 p.

BS 7385-2. 1993. *Evaluation and measurement for vibration in buildings. Part e: guide to damage levels from groundborne vibration*. Londres, 10 p.

Building Research Station. 1970. *Digest 117 – vibrations in buildings*. Londres, 8 p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2007. *Decisão de Diretoria no 215/2007/E*. São Paulo. 3 p.

DIN 4150-3. 1999. *Structural vibration - Part 3: effects of vibration on structures*. Berlim, Alemanha, 11 p.

ISO 2631-1. 1978. *Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*. Suíça, 15 p.

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)*. Suíça, 11 p.