



5.1.4 Ruídos e Vibrações

5.1.4.1 Diagnóstico do Parâmetro Ruído

As ondas sonoras se propagam em uma forma esférica, a partir de uma fonte pontual, por exemplo, uma máquina ruidosa, ou cilíndrica, a partir de uma fonte linear, por exemplo, uma via de grande volume de tráfego. Esta situação pode ser alterada pela presença de obstáculos na trajetória de propagação ou pela não uniformidade do meio em campo aberto.

As ondas sonoras são formadas por qualquer processo que provoque flutuações em um fluido, que geralmente é o ar, como as pás de um ventilador ou o estrangulamento da passagem de ar numa sirene. Vibrações de superfícies sólidas também produzem excitações no ar e são capazes de gerar ondas sonoras como um auto-falante.

O ouvido humano é capaz de responder a um grande intervalo de intensidade sonora, desde o limiar da audição até o limiar da dor. Por exemplo, na frequência de 1000 Hz a intensidade sonora capaz de causar a sensação de dor é 10^{14} vezes maior que aquela que causa a sensação de audição.

Devido à dificuldade de se expressar números de ordem de grandeza tão diferente numa mesma escala linear, utiliza-se a escala logarítmica para definir a intensidade do som. A unidade da intensidade sonora é conhecida como Bel (B). Nesta escala a divisão é \log_{10} , portanto a razão de intensidade do exemplo acima é 10^{14} ou 14 divisões de escala.

Como o ouvido humano é capaz de detectar apenas variações superiores a 0,1 Bel utiliza-se como fundo de escala o deciBel (dB), ou seja, Bel/10. O ouvido humano também não é igualmente sensível a todas as frequências sonoras.

As frequências de maior audibilidade estão na faixa de 2000 e 5000 Hz e as menos audíveis são as frequências abaixo de 125 Hz e acima de 8000 Hz. Por exemplo, para o ouvido humano ter a mesma sensação de audição nas frequências de 125 Hz e de 1000 Hz, a intensidade da primeira frequência tem que ser 16 dB mais alta que a segunda.

Para compensar esta situação utilizam-se circuitos eletrônicos de sensibilidade variável com a frequência, de forma a modelar o comportamento do ouvido humano classificados como A, B, C e D. O circuito A, por exemplo, faz uma correção da escala logarítmica, aproximando-a da sensibilidade do ouvido humano, por isso se utiliza a métrica dB(A).

Assim, para o diagnóstico do parâmetro ruído as medições de nível de pressão sonora foram realizadas nesta escala em pontos selecionados de maneira que pudesse caracterizar a zona limítima ao porto. Os mesmos são ilustrados nas figuras 5.1.4.1-1 e 5.1.4.1-2. Os pontos marcados por círculos são de dados primários com medidas realizadas em 14/03/2011 e os marcados por quadrados são referentes ao EIA da BTP realizadas em 16/04/2008.

A norma que regulariza este procedimento, segundo a resolução nº1 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 08 de Março de 1990, é a ABNT NBR 10151 - Avaliação de ruído em áreas habitadas, procedimentos (2000).

Esta Norma estabelece a metodologia para obtenção do LAeq (nível de pressão sonora equivalente médio), que após as devidas correções torna-se o Lra (nível de pressão sonora ambiente) que será comparado com o NCA (nível critério de avaliação) proposto pela referida norma. A especificação dos valores de NCA para cada tipo de ocupação é reproduzida na figura 5.1.4.1-1 e devem ser determinados segundo a micro ocupação do local de medição.

Na Figura 5.1.4.1-1 é possível visualizar a ADA em branco e os pontos de medição de ruído e vibração de 1 a 9, cujos valores foram obtidos com dados primários e 10 a 12



com dados secundários, cujas medidas foram realizadas em outros estudos ambientais anteriormente a este o que permite da uma característica temporal na amostra. A área demarcada em vermelho pertence a zona de operação do Porto de Santos, a demarcada em laranja é uma região com ocupação predominante de empresas ligadas a logística do Porto, e em amarelo zona residencial. Na Figura também estão destacadas as principais fontes de ruído e vibração como a Av. Eng. Augusto Barata ao Porto, em azul, a linha férrea em lilás e a Rod. Anchieta em preto. As escolas localizadas na AID e AII são apontadas pelos marcadores circulares na cor preta.



Figura 5.1.4.1-1 Pontos de Medição de Ruído e Vibração do entorno imediato- pontos sensíveis



Figura 5.1.4.1-2 Vista geral da ADA - Pontos de Medição de Ruído e Vibração



Para determinação do L_{Aeq} a norma não especifica o tempo de medição. Em locais onde o tráfego de veículos é uma fonte de ruído predominante trabalhos científicos consagrados na literatura sobre o assunto (Nunes (1998), Nunes (1999), Sattler (1999), Arruda (2000), Niemeyer (2001), Valadares (2001) indicam um tempo de medição de pelo menos 5 minutos podendo ser de até 30 minutos, dependendo da variabilidade do volume de tráfego.

Neste Estudo, o L_{Aeq} foi determinado em um período de integração de 15 minutos. As correções para determinação do L_{ra} não precisaram ser aplicadas, pois não foram identificados ruídos de impactos ou componentes tonais, necessários para tal. Desta maneira o L_{Aeq} e L_{ra} possuem o mesmo valor.

Quadro 5.1.4.1-1 Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos fornecidos pela NBR 10151 (2000)

| Tipos de Áreas | DIURNO (dB(A)) | NOTURNO (dB(A)) |
|--|---------------------------|----------------------------|
| Áreas de Sítios e Fazendas | 40 | 35 |
| Área estritamente Residencial/Urbana/ou de Escolas | 50 | 45 |
| Área Mista, predomínio Residencial | 55 | 50 |
| Área Mista, com Vocação Comercial/e Administrativa | 60 | 55 |
| Área Mista, com Vocação Recreacional | 65 | 55 |
| Área predominantemente Industrial | 70 | 60 |

O medidor de nível de pressão sonora utilizado para as medições foi um QUEST 2200, série KOG050005 e o calibrador CAL 3000, série N272168 calibrados em laboratório acreditado pelo INMETRO e pertencente à Rede Brasileira de Calibração, em anexo X - subitem C. O aparelho foi calibrado antes e verificado após a conclusão das medidas, foi utilizado o protetor de vento, posicionado a 1,20 metros do piso e 2 metros de superfícies reflexivas, e foi utilizada a escala de compensação "A".

a) **ÁREA DIRETAMENTE AFETADA (ADA)**

Os pontos de medição 1 e 2 estão localizados no interior da ADA onde já opera um terminal. As Fotos 5.1.4.1-1 e 5.1.4.1-2 ilustram os locais das medições. O L_{Aeq} obtido foi de 53,9 e 59,6 dB(A) respectivamente. O NCA da ADA pode ser considerado de 70 dB(A) para o período diurno. O acréscimo na energia sonora no ponto de medição 2 é devido à proximidade com a via lindeira a zona portuária, que por ser de paralelepípedos, gera grande energia sonora devido ao impacto das caçambas dos caminhões.



Foto 5.1.4.1-1 Vista dos equipamentos em operação no terminal a partir do ponto de medição 1

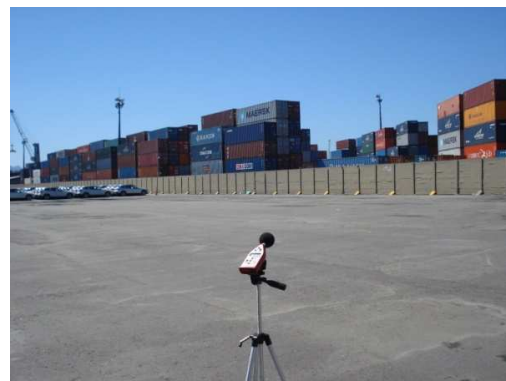


Foto 5.1.4.1-2 Vista do pátio de carga a partir do ponto de medição 2

A região situada a oeste do terminal de cargas é composto por vegetação sem que haja acesso atualmente para o local. O ponto de medição 13, obtido no processo de licenciamento do terminal BTP em 16/04/2008, apresentou à época de medição uma L_{Aeq} de 53,8 dB(A) semelhante ao obtido no ponto de medição 1. Como no ano de 2008 o terminal BTP ainda não estava instalado a única fonte de ruído era a via lindeira de modo que pode-se fazer a mesma consideração para a mata hoje existente na ADA. O quadro 5.1.4.1-2 mostra as coordenadas de cada ponto de medição o L_{Aeq} obtido e o NCA do local avaliado.

Quadro 5.1.4.1-2 Localização de cada ponto de medição, sua classificação, NCA sugerido pela NBR 10151 (2000) e o L_{Aeq} obtido na campanha de medição na ADA

| Ponto | Endereço ou Coordenadas | Área | L_{Aeq} dB(A) | NCA NBR 10151 (2000) DIURNO dB(A) |
|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 23° 55.448'S 46° 20.628'O | Industrial | 53,9 | 70 |
| 2 | 23° 55.572'S 46° 20.869'O | Industrial | 59,69 | 70 |
| 13 | 23° 55.378'S 46° 21.222'O | Campo | 53,8 | 40 |

b) **ÁREA DE INFLUENCIA DIRETA (AID)**

A AID se estende por uma zona de cerca de 600 metros a partir da ADA. Os pontos de medição 3 a 5 ficam lindeiros a zona portuária sendo que a principal fonte de ruído nestes locais é o tráfego pesado de caminhões pela Av. Eng. Alves Freire Santos, assim com o ponto 10 também obtido no processo de licenciamento do terminal BTP em 16/04/2008. Os pontos de 6 a 8 estão a cerca de 500 metros da ADA lindeiros a Rodovia Anchieta sendo esta a principal fonte de ruído devido ao tráfego de veículos leves e pesados sendo que o mesmo ocorre com o nº11, obtido no processo de licenciamento do terminal BTP em 16/04/2008.



Foto 5.1.4.1-3 Vista do tráfego de caminhões a partir do ponto de medição 3



Foto 5.1.4.1-4 Vista do tráfego de caminhões a partir do ponto de medição 4.



Foto 5.1.4.1-5 Vista do tráfego de caminhões a partir do ponto de medição 5.



Foto 5.1.4.1-7 Vista tráfego pela Rod. Anchieta a partir do ponto de medição 7.

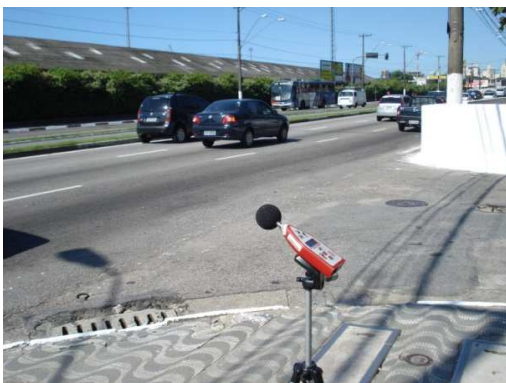


Foto 5.1.4.1-6 Vista tráfego pela Rod. Anchieta a partir do ponto de medição 6.



Foto 5.1.4.1-8 Vista tráfego pela Rod. Anchieta a partir do ponto de medição 8.



O quadro 5.1.4.1-3 mostra as coordenadas de cada ponto de medição o L_{Aeq} obtido e o NCA do local avaliado.

O ponto de medição 3 está mais afastado da via defronte da portaria da Deicmar, por isso possui um L_{Aeq} menor que o 4 e 5, próximos a faixa de rolamento. Estes superam com larga margem o NCA de 70 dB (A). O ponto 10, por estar mais afastado da via possui um L_{Aeq} menor sendo que também deve-se novamente considerar que na época do levantamento não havia o terminal BTP.

Os pontos 6 a 8 recebem diretamente o impacto da energia sonora gerada pelo tráfego da Rodovia Anchieta sendo que neste caso o NCA de 60 dB(A) é superado com uma margem ainda maior. Mesmo o ponto de medição 12, mais afastado da via e obtido no processo de licenciamento do terminal BTP em 16/04/2008, também supera o valor do NCA.

De uma maneira geral a AID está impactada pelo ponto de vista do parâmetro ruído devido a energia sonora gerada pelo intenso tráfego de veículos leves e pesados da Av. Eng. Alves Freire Santos, Rodovia Anchieta e linha férrea, apresentando uma situação característica de áreas industriais. Na AID os receptores sensíveis, como escolas, residências e hospitais, estão ao mínimo de 900 m de distância da ADA, não recebendo energia sonora diretamente do novo empreendimento, e são impactados pelas fontes de ruído já presentes na região como descrito. Na Figura 5.1.4.1-1, anteriormente apresentada, é possível visualizar tal situação.

Quadro 5.1.4.1-3 Localização de cada ponto de medição, sua classificação, NCA sugerido pela NBR 10151 (2000) e o L_{Aeq} obtido na campanha de medição na AID

| Ponto | Coordenadas Geográficas | Área | L_{Aeq} dB(A) | NCA NBR 10151 (2000) DIURNO dB(A) | Data da medição |
|-------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 3 | 23° 55.509'S 46° 20.632'O | Industrial | 58,7 | 70 | 14/03/2011 |
| 4 | 23° 55.594'S 46° 20.856'O | Industrial | 78,4 | 70 | 14/03/2011 |
| 5 | 23° 55.612'S 46° 20.491'O | Industrial | 76,0 | 70 | 14/03/2011 |
| 10 | 23° 55.580'S 46° 20.955'O | Industrial | 66,0 | 70 | 16/04/2008 |
| 6 | 23° 55.792'S 46° 20.496'O | Mista com vocação comercial | 74,2 | 60 | 14/03/2011 |
| 7 | 23° 55.866'S 46° 20.862'O | Mista com vocação comercial | 74,2 | 60 | 14/03/2011 |
| 8 | 23° 55.812'S 46° 21.315'O | Mista com vocação comercial | 75,4 | 60 | 14/03/2011 |
| 11 | 23° 55.880'S 46° 20.942'O | Mista com vocação comercial | 68,4 | 60 | 16/04/2008 |

c) **ÁREA DE INFLUENCIA INDIRETA (AII)**

Foi realizada uma medida de nível de pressão sonora da AII, ponto de medição 9 a cerca de 1400 metros da ADA. Esta fica próxima à linha férrea sendo que no momento da medição houve a passagem de uma composição.

O L_{Aeq} obtido foi de 73,4 dB(A), praticamente o mesmo dos pontos da AID, de maneira que é possível concluir que a passagem de composições férreas pouco contribuem para a degradada situação do local.

O ponto de medição 12, obtido no processo de licenciamento do terminal BTP em 16/04/2008, a cerca de 1000 metros da ADA possuía na época 68,4 dB(A). A diferença novamente pode ser explicada pela maior distância do local de medição em relação a via e pelo diferença de volume de tráfego pois o terminal BTP ainda não estava em operação.

Assim como a AID, a AII também está impactada pelo tráfego de veículos leves e pesados sendo que as composições ferroviárias pouco contribuem para esta situação.

Quadro 5.1.4.1-4 Localização de cada ponto de medição, sua classificação, NCA sugerido pela NBR 10151 (2000) e o L_{Aeq} obtido na campanha de medição na AII

| Ponto | Coordenadas Geográficas | Área | L_{Aeq} dB(A) | NCA NBR 10151 (2000) DIURNO dB(A) | Data da medição |
|-------|--------------------------------|------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 9 | 23°55'46.40"S 46°20'6.57"O | Industrial | 73,4 | 70 | 14/03/2011 |
| 12 | 23°55'30.22"S 46°21'25.82"O | Industrial | 68,4 | 70 | 16/04/2008 |

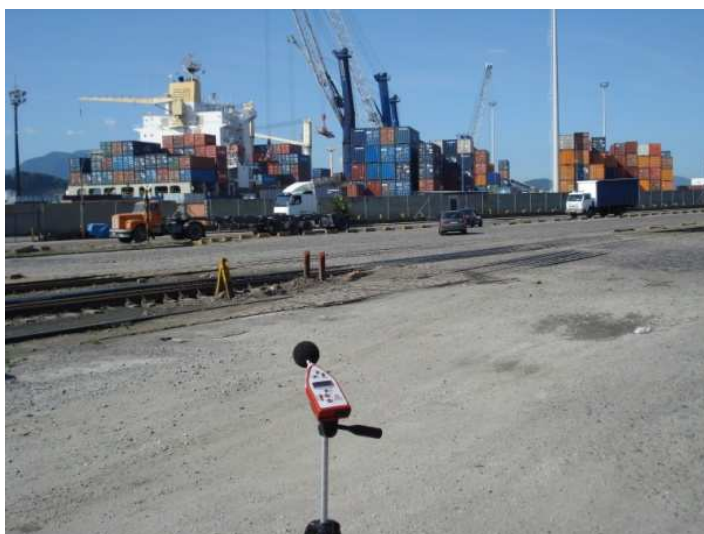


Foto 5.1.4.1-9 Vista do tráfego de caminhões a partir do ponto de medição 9.

Analisando o parâmetro ruído pelo critério sazonal, ou seja, comparando os resultados obtidos no ano de 2008 e 2011 pode-se perceber que houve um acréscimo no nível de ruído ambiente.

No caso da AID, por exemplo, é possível a comparação dos resultados obtidos no ponto de medição 4 em 14/03/2011 L_{Aeq} de 78,4 dB(A) e no ponto 10 em 16/04/2008. L_{Aeq} de 66,0 dB(A). No ponto 10 o ruído captado é gerado apenas pelos veículos que circulam pela Av. Eng. Alves Freire Santos, já que está próximo a uma zona de mata na época da medição. Já o ponto de medição 2 está próximo as áreas de operação do porto, sofrendo influência também destes, além do tráfego de veículos pesados. Este fato se repete ao se



considerar também o ponto de medição 12, na AII, obtido em 16/04/2008 com L_{Aeq} de 68,4 dB(A) e o ponto 9 obtido em 14/03/2011 com L_{Aeq} de 73,4 dB(A).

A mesma consideração anterior pode ser feita analisando os pontos 6, 7, 8 obtidos em 14/03/2011 e ponto 11 obtido em 16/04/2008. Os três primeiros possuem um L_{Aeq} superior ao ponto 11 justificado por este estar mais afastado da Rodovia Anchieta.

- Justificativa de realização de campanha amostral única

Além das comparações entre os levantamentos primários e os dados secundários obtidos para a região do empreendimento, um fato importante a se considerar é a condição estacionária no espaço do nível de ruído da zona limdeira ao porto, já que em locais de igual característica o nível de ruído é praticamente o mesmo, sendo na AID ou AII como é possível observar nos pontos de medição 4, 5 e 9 ou 6,7 e 8. Este fato se repete quando observada a condição do tempo já que a partir de certo valor o crescimento do volume de tráfego não implica diretamente na elevação do nível de ruído, já que há uma saturação da energia sonora, sendo esta uma sutileza da escala logarítmica, além do fato do porto operar diuturnamente durante todo o ano praticamente na mesma condição. Desta forma pode-se considerar que o padrão de energia sonora aqui analisado permanece praticamente o mesmo durante todo o ano. Este fato permite a realização de apenas uma campanha amostral, sem possíveis lacunas de conhecimento referentes à sazonalidade dos parâmetros.

Somada à justificativa acima e baseando-se nas considerações da "Memória de Reunião" de 22/03/2011 (anexo XIII), para tornar a análise mais abrangente e rica, utilizaram-se dados secundários medidos no processo de licenciamento do terminal BTP (limítrofe ao TPMD) em Abril de 2008. Entende-se que a análise integrada das informações primárias e secundárias, somadas à estabilidade na medição dos padrões de energia sonora, fornece informações suficientes para o diagnóstico do parâmetro ruído.

5.1.4.2 Diagnóstico do Parâmetro Vibração

A vibração emitida por equipamentos industriais tráfego de veículos pesados ou escarificação pode gerar deslocamentos capazes de se propagar pelo solo, afetando as fundações das edificações próximas por induzir vibração estrutural causando incômodo às pessoas e até danos estruturais, caso não sejam adotadas medidas para o isolamento da energia vibratória nas situações mais agudas.

Este efeito pode variar em função da distância entre fonte e receptor, em função da capacidade de amortecimento do solo, em função da forma como as ondas vibratórias são geradas, por exemplo, de modo contínuo (máquinas industriais), instantâneo (detonações) e intermitente (ruído de tráfego) e em função do tipo de estrutura da edificação. Em geral estas vibrações ocorrem entre as frequências de 1 a 150 Hz.

Os danos gerados pela vibração em edificações, conforme a classificação da norma ISO 4866 (1990) *Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings* são classificados 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, podendo contribuir 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. Assim, uma pequena velocidade de deslocamento 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 norma DIN 4150-3 (1999) *Vibration in buildings, effect in structures* aborda 3 categorias diferentes de estruturas de concreto a madeira. A Categoria 1, que abrange as edificações de concreto armado e de madeira em boas condições, a Categoria 2, que abrange edificações de alvenaria em boas condições e Categoria 3, as edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificações consideradas de patrimônio histórico.

A velocidade de deslocamento máximo (*Peak Particle Velocity, PPV*) para cada uma destas classificações dada pelo quadro 5.1.4.2-1. Não são consideradas estruturas metálicas nesta parte da norma, pois estas são poucos vulneráveis a problemas vibratórios.

Quadro 5.1.4.2-1 Limites de velocidade de vibração da partícula em pico, PPV em (mm/s) segundo a norma DIN 4150-3 (1999) para integridade estrutural.

| Tipos de Edificação | PPV (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 |

Outro efeito da vibração induzida pelo solo é o da incomodidade ao usuário da edificação. Conforme estabelece 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)*", as vibrações transmitidas ao corpo humano devido à exposição são significativas somente nas proximidades do maquinário de trabalho.

As vibrações geradas por atividades industriais em estruturas e transmitidas aos seus ocupantes, em geral, é um problema de incômodo e não de saúde ou segurança. Estas últimas são ocasionadas apenas por contato direto com equipamentos vibratórios no seu manuseio como serras circulares, rompedores, maquinário pneumático, gerando doenças ocupacionais.

As exposições a vibrações 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.

Para as residências os limites são de velocidade de deslocamento de pico, PPV, é de 0,40 mm/s para o período diurno e 0,14 mm/s no horário noturno, quadro 5.1.4.2-2 de acordo com Patrício (2001), a medição de vibrações pode ser efetuada por meio de acelerômetros, geofones e sistemas laser que fornecem os valores da velocidade de vibração de pico, que se encontram correlacionadas com diversas velocidades limite



conhecidas, tais como: percepção humana: 0,3 mm/s; desconforto: 1,0 mm/s e danos estruturais: 10,0 mm/s.

Quadro 5.1.4.2-2 Limites de velocidade de vibração da partícula em pico, PPV em (mm/s) segundo a norma ISO 2631-2 (1997) para limites de incomodidade

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

A vibração induzida pelo tráfego está ligada aos veículos pesados como caminhões e ônibus e não aos leves com carros e pequenos utilitários. Mesmo caminhões e ônibus se diferenciam na geração de vibração devido a diferenças no seu sistema de amortecimento sendo que os ônibus apesar de serem mais leves são mais problemáticos (HUNAIADI, 2000).

Este fato é agravado quando acontece o impacto com irregularidades na via. Estas cargas geram ondas vibratórias que se propagam na frequência natural do solo até atingir as fundações de residências muito próximas. Caso a frequência de ressonância da estrutura da edificação seja similar a frequência de propagação da onda vibratória haverá amplificação da onda ocasionando um impacto indesejado.

Pode ocorrer também que a rugosidade do pavimento induza um componente harmônico que pode novamente se acoplar a frequência natural de propagação da onda no solo e estrutura da edificação, sendo neste caso, é necessário um elevado volume de tráfego e altas velocidades para causar este efeito.

A tendência da vibração oriunda de veículos pesados é a geração de ondas no solo entre 1 e 80 Hz com uma velocidade de deslocamento de 0,2 a 50 mm/s (ISO 4866, 1990), 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. Assim como na vibração induzida por equipamentos, os solos de abaixo amortecimento tendem a transmitir com mais facilidade as ondas vibratórias.

Desta maneira para o diagnóstico do parâmetro vibração foram realizadas medições da velocidade de deslocamento de pico, PPV, nos mesmos locais onde foram executados medidas do nível de pressão sonora. Os mesmos são ilustrados nas Figuras 5.1.4.1-1 e 5.1.4.1-2.

As normas aplicadas neste procedimento foram a ISO 4866 (1990) e DIN 4150-3 (1999). O tempo de medição foi de 5 minutos onde o aparelho registrava a PPV neste período no eixos z (plano vertical a via), x (plano horizontal perpendicular a via) e y.(plano horizontal paralelo a via).

O equipamento cobre uma faixa de frequência entre 10 e 1000 Hz atendo as referidas normas. O medidor de velocidade e acelerômetro utilizado foi um MV 690, série Q558879 calibrados em laboratório acreditado pelo INMETRO e pertencente à Rede Brasileira de Calibração, em anexo X – subitem B. O acelerômetro foi posicionado por meio magnético em um *pod* metálico de medição de acordo em a ISO 4866 (1990).

As fotos 5.1.4.2-1, 5.1.4.2-2 e 5.1.4.2-3 exemplificam os eixos z, x e y. As fotos 4 a 7 ilustram o momento das medições nos pontos 3, 4, 8 e 9.



Foto 5.1.4.2-1 Acelerômetro fixado no *pod* metálico no eixo z.



Foto 5.1.4.2-4 Vista do equipamento de medição de vibração no ponto de medição 3.



Foto 5.1.4.2-2 Acelerômetro fixado no *pod* metálico no eixo x.



Foto 5.1.4.2-5 Vista do equipamento de medição de vibração no ponto de medição 4



Foto 5.1.4.2-3 Acelerômetro fixado no *pod* metálico no eixo y.



Foto 5.1.4.2-6 Vista do equipamento de medição de vibração no ponto de medição 8



Foto 5.1.4.2-7 Vista do equipamento de medição de vibração no ponto de medição 9

As fontes de vibração são as mesmas já descritas na análise do ruído ambiental, ou seja, o tráfego pesado e em alguns locais o deslocamento das composições ferroviárias.

Os resultados obtidos estão descritos no quadro 5.1.4.2-3 onde é indicado a classificação do local e os limites máximos segundo as normas DIN 4150-3 (1999) e ISO 2631-2 (1997).

O limite de danos estruturais para edificações em alvenaria não foi excedido em nenhuma das medições, mas o de incomodidade humana sim nos pontos 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Pela análise proposta por Patrício (2001) a condição pode ser classificada como de desconforto sendo que o mesmo é perceptível durante a passagem dos caminhões. Está não é uma situação preocupante, pois as medidas foram realizadas no passeio público de modo que no interior das edificações próximas os valores de PPV serão inferiores a estes.

- ✓ Justificativa de realização de campanha amostral única

Deve-se considerar que a normalização pede que seja analisado o pico de velocidade de vibração e não o seu valor médio (conhecido com RMS).

Por este critério basta que um dado valor seja atingido uma única vez no período de análise para que o critério seja superado, por exemplo, não importando, portanto, quantas vezes isso ocorreu. Os picos de velocidade são causados, no caso em análise, pelo impacto das suspensões dos caminhões no pavimento que dependem das condições do piso, da velocidade dos veículos e de seu peso. O volume de tráfego não influencia no PPV, pois como já dito considera-se sempre o maior valor e não quantas vezes ele ocorre, assim basta apenas a passagem de um veículo pesado para de determinar o PPV. Como não se sabe qual seria o maior valor se adota a medição em um espaço de tempo, esperando que neste, a condição mais desfavorável aconteça.

Desta forma, diferentemente da análise de ruído onde se considera a energia média, a vibração depende apenas do valor de pico de velocidade sendo que esta independe do volume de tráfego sendo estacionária no tempo, já que a circulação de veículos pela Av. Eng. Alves Freire Santos, Rodovia Anchieta e linha férrea é diuturna e não apresenta alterações quanto ao padrão de carga e velocidade dos veículos.



Quadro 5.1.4.2-3 Localização de cada ponto de medição, sua classificação, PPV (mm/s) e os limites das normas DIN 4150-3 e ISO 2632-2.

| Ponto | Área | PPV (mm/s) | DIN 4150-3 (mm/s) | ISO 2631-2 (mm/s) Diurno |
|--------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Industrial | 0,15 | 40 | 0,80 |
| 2 | Industrial | 0,65 | 40 | 0,80 |
| 3 | Industrial | 0,60 | 40 | 0,80 |
| 4 | Industrial | 1,50 | 40 | 0,80 |
| 5 | Industrial | 1,55 | 40 | 0,80 |
| 6 | Mista com vocação comercial | 0,95 | 16 | 0,40 |
| 7 | Mista com vocação comercial | 0,90 | 16 | 0,40 |
| 8 | Mista com vocação comercial | 0,90 | 16 | 0,40 |
| 9 | Industrial | 2,15 | 40 | 0,80 |
| 10 | Mista com vocação comercial | 0,257 | 16 | 0,40 |
| 11 | Mista com vocação comercial | 0,106 | 16 | 0,40 |
| 12 | Industrial | 0,184 | 40 | 0,80 |
| 13 | Campo | 0,036 | 16 | 0,14 |