

Minuta de Norma

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO HUMANA À VIBRAÇÃO VISANDO O CONFORTO DA COMUNIDADE

PREFÁCIO

As vibrações afetam as pessoas de muitas formas causando desconforto, problemas de saúde, diminuição da capacidade de concentração e eficiência no trabalho ou enjô, no caso de vibrações de baixíssima frequência.

A forma pela qual a vibração estrutural dos prédios influencia o conforto dos ocupantes depende da frequência, da direção que atinge o corpo humano e de seu comportamento ao longo do tempo, se contínua, intermitente ou transitória. Além disso, a percepção e tolerância à vibração dependem do local, do tipo de atividade, do horário e da expectativa de conforto e privacidade das pessoas. Uma avaliação precisa da aceitabilidade das vibrações e o estabelecimento de limites quanto ao conforto ambiental podem ser feitos somente com conhecimento desses fatores.

Por outro lado, não há evidência conclusiva que suporte uma relação universal de dependência entre o nível de conforto e o tempo de exposição à vibração.

A **Norma ISO 2631 Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro - Parte 1: Requisitos gerais** define métodos de medida da vibração de corpo inteiro e indica os principais fatores que combinam para determinar o grau de aceitabilidade à exposição da vibração. Ela traz informações e orienta quanto aos possíveis efeitos da vibração sobre a saúde, o conforto, o limite de percepção, na faixa de 0,5 a 80Hz, e o enjô, para frequências entre 0,1 e 0,5 Hz.

Esta Norma, no **Anexo C - Conforto**, apresenta um consenso das opiniões sobre a relação entre a severidade da vibração e o conforto humano. Ela fornece método uniforme e conveniente de estabelecimento da severidade subjetiva das vibrações em prédios e veículos, sem entretanto estabelecer limites específicos de aceitação.

A **Norma ISO 2631 - Parte 2: Vibrações contínuas e induzidas por choques em prédios (1 a 80 Hz)** apresenta um guia para aplicação da **ISO 2631-1** sobre resposta humana à vibração dos prédios, incluindo curvas ponderadas, em função da frequência, de igual nível de perturbação para os seres humanos, junto com métodos de medida a serem utilizados.

A **Norma ISO 2631-2** sugere que para ambientes específicos é possível avaliar o efeito das vibrações sobre o conforto das pessoas usando o valor quadrático médio (eficaz) da aceleração ou velocidade ponderada, medida num período representativo em relação ao comportamento da fonte de excitação. Essa ponderação é feita em função da frequência, de acordo com curvas estabelecidas conforme o eixo em que a vibração atinge o corpo humano (*x-frontal*, *y-lateral* ou *z-longitudinal*) nas posições em pé, sentado ou recostado.

Esta norma, em seu **Anexo A – Informações sobre critérios de avaliação utilizados atualmente**, apresenta tabela experimental utilizada em diversos países, com níveis de intensidade de vibração dos prédios considerados satisfatórios, como uma “contribuição para divulgação do estado da arte sobre o assunto”.

ÍNDICE

PREFÁCIO

ÍNDICE

1. OBJETIVO

2. ESCOPO

3. CAMPO DE APLICAÇÃO

4. REFERÊNCIAS

5. DEFINIÇÕES

5.1 Vibrações de Corpo Inteiro

5.2 Processos de Medida e Avaliação da Vibração

5.2.1 Ponderação dos sinais de velocidade de vibração

5.2.2 Cálculo do valor quadrático médio

5.3 Características da Vibração dos Prédios

6. METODOLOGIA

6.1 Generalidades – Caracterização da Vibração dos Prédios com Relação ao Conforto Ambiental

6.2 Medida de Campo da Severidade de Vibração Ponderada

6.3 Pontos de Medida

6.4 Direções de Medida

6.5 Período de Observação

7. INSTRUMENTAÇÃO

7.1 Requisitos Gerais do Medidor de Vibração

7.2 Ponderação dos Sinais de Velocidade e Cálculo do Nível Global

7.2.1 Sinais com frequências na faixa de 1 a 80 Hz

7.2.2 Sinais com frequências na faixa de 8 a 80 Hz

7.3 Registros da Severidade da Vibração Ponderada

8. LIMITES DE ACEITABILIDADE

8.1 Avaliação do Conforto Ambiental

ANEXO I – Figura 1

1. OBJETIVO

Avaliação das vibrações dos prédios quanto ao conforto das pessoas, através de norma técnica a ser aplicada pela CETESB, no âmbito da Indústria Têxtil.

A norma tem como base os procedimentos de medida e avaliação das vibrações estabelecidos pela Norma ISO 2631 - Parte 2 que trata da resposta humana à vibração dos prédios.

2. ESCOPO

Esta norma estabelece procedimentos de medição e critérios de aceitabilidade para vibrações visando o conforto humano em edificações.

São fornecidos níveis aceitáveis de vibração em função do tipo de vibração, do período - de dia ou de noite - e da área de ocupação do prédio.

3. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta norma se aplica à vibração de corpo inteiro, contínua, com frequências na faixa de 1 a 80 Hz, induzida pelo funcionamento de máquinas industriais em prédios vizinhos.

Ela nada informa sobre a possibilidade da vibração causar danos à estrutura dos prédios, assim como, não considera o efeito de eventuais ruídos sonoros irradiados por paredes, portas ou janelas.

4. REFERÊNCIAS

ISO 2631 Evaluation of human exposure to whole-body vibration
Part 1: General requirements
Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 a 80 Hz)

NBR 7497 Nomenclatura sobre vibrações

5. DEFINIÇÕES

5.1 Vibração de Corpo Inteiro

Vibração de corpo inteiro é aquela transmitida através das superfícies de apoio, ou seja, os pés para uma pessoa de pé, os pés, as nádegas e as costas para uma pessoa sentada e as superfícies de apoio de uma pessoa recostada ou deitada.

5.2 Processos de Medida e Avaliação da Vibração

De uma forma geral, a vibração deve ser captada na superfície estrutural que suporta o corpo humano, o mais próximo possível do ponto que atinge a pessoa exposta à vibração.

Nota: Quando as medidas forem tomadas fora da estrutura suporte ou em uma superfície diferente da que contem o ponto em que a vibração atinge o corpo da pessoa, deve-se considerar a função de transferência entre o local de medida e o de transmissão da vibração, cuja relação deve ser explicitada no relatório de resultados.

Preferencialmente a vibração deve ser medida nas 3 direções ortogonais.

Para avaliação da influência da vibração sobre o conforto das pessoas em edifícios, utiliza-se a medida do máximo valor quadrático médio (eficaz) da velocidade da vibração ponderada em função da frequência, denominada **Severidade da Vibração Ponderada (SVP)**.

5.2.1 Ponderação dos sinais de velocidade de vibração

Para ponderação dos sinais de velocidade de vibração pode-se utilizar a função correspondente a um filtro passa alta com frequência de corte de 5,6 Hz, cuja resposta é apresentada na figura 1 do Anexo I, sendo a atenuação determinada pela fórmula:

$$\text{atenuação} = [1 + (5,6/f)^2]^{1/2}, \text{ onde}$$

f é a frequência em Hz.

5.2.2 Cálculo do valor quadrático médio

O valor quadrático médio (eficaz) da velocidade ponderada, V_{Pef} , é expresso em milímetros por segundo e deve ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$V_{Pef} = [1/T \int_0^T v_w^2(t) dt]^{1/2}, \text{ onde}$$

$v_w(t)$ é o sinal da velocidade de vibração ponderada/filtrada, em mm/s;
T é a duração da medida, em segundos.

5.3 Características da Vibração dos Prédios

A vibração estrutural dos prédios, em função de seu comportamento ao longo do tempo, pode ser definida como:

- **Transitória ou impulsiva** - definida como a rápida formação de um pico, seguido de decaimento, envolvendo ou não vários ciclos de vibração, dependendo da frequência e do amortecimento. Pode consistir também de vários ciclos de mesma amplitude, desde que a duração seja curta (menos que 2s).
- **Intermitente** - é uma seqüência de vibrações incidentes, cada qual de curta duração, separadas por intervalos de vibrações de níveis muito menores. Vibrações intermitentes podem ser geradas por fontes de impulsos (como bate-estacas ou prensas de forja) ou fontes repetitivas (como quebradores de pavimentos) ou fontes que operam intermitentemente, mas que produziram vibra-

ções contínuas se operassem continuamente (como máquinas intermitentes, aparelhos de elevação, trens ferroviários e tráfego rodoviário).

- Contínua – é aquela que se mantém ininterrupta durante o período em consideração.

A classificação dos prédios com respeito à resposta humana deve ser efetuada somente com base na ocupação prevista de cada ambiente, não sendo considerados outros critérios como a técnica de construção, o estado de conservação ou o valor comercial do prédio.

6. METODOLOGIA

6.1 Generalidades - Caracterização da Vibração dos Prédios com Relação ao Conforto Ambiental

A vibração dos prédios deve ser medida em velocidade (mm/s), na faixa de 1 a 80 Hz de frequência. O sinal da velocidade deve ser ponderado/filtrado em função da frequência e, em seguida, determinado seu valor quadrático médio (eficaz).

A forma ideal de medição é gravar o sinal não filtrado da velocidade de vibração, por um período adequado em relação ao comportamento da(s) fonte(s) de excitação, podendo-se posteriormente obter qualquer valor desejado.

6.2 Medidas de Campo da Severidade da Vibração Ponderada – SVP

Através de instrumentação adequada, definida no item 7, pode-se medir diretamente a Severidade da Vibração Ponderada - **SVP**, ou seja, o máximo valor eficaz da velocidade de vibração ponderada, valor este atribuído à fonte que está sendo avaliada.

6.3 Pontos de Medida

Medir a vibração na superfície estrutural que suporta as pessoas, no(s) ponto(s) de maior intensidade, tipicamente: no centro da laje dos pisos, para vibrações verticais e nos pisos próximo às paredes, por exemplo nos vãos das portas e janelas, para vibrações horizontais.

6.4 Direções de Medida

Em cada ponto a vibração deve ser medida nas três direções ortogonais: *v* - vertical, *hl* - horizontal longitudinal e *ht* - horizontal transversal, em relação às principais dimensões do prédio ou do ambiente analisado.

O valor global pontual da **SVP** deve ser considerado como o máximo valor obtido entre as 3 direções ortogonais, o qual deve ser utilizado para avaliação do conforto ambiental.

6.5 Período de Observação

As medições devem ser realizadas por tempo suficiente para garantir uma precisão estatística adequada e obter uma amostragem típica da vibração a ser avaliada, em função do comportamento da(s) fonte(s) de excitação. O período de observação depende da regularidade

dos registros de vibração ao longo do tempo, podendo ser menor que o período de exposição.

Para vibrações contínuas recomenda-se medir o V_{Pef} com tempo de integração de 1,0 s – modo *Slow* – seguidamente durante 2 minutos, determinando-se o valor máximo neste período, que corresponderá à **SVP**.

Essas medições devem ser repetidas pelo menos 3 vezes em todos os pontos e direções analisados, espaçadas ao longo do período de observação, utilizando-se o valor máximo obtido para avaliação do conforto ambiental.

7. INSTRUMENTAÇÃO

7.1 Requisitos Gerais do Medidor de Vibração

O conjunto medidor de vibração, formado pelo transdutor, pré-amplificador, condicionador de sinais, detetor e indicador de nível, deve ter resposta plana na faixa de 1 a 80 Hz.

A resolução do medidor do valor eficaz da velocidade de vibração V_{Pef} deve ser melhor que 0,3 mm/s e a incerteza da medida deve estar dentro da faixa de + ou – 10 %.

O aparelho deve ser calibrado conforme recomendação do fabricante ou após a ocorrência de algum dano ou, no mínimo, a cada 12 meses de uso.

7.2 Ponderação dos Sinais de Velocidade e Cálculo do Nível Global

7.2.1 Sinais com frequências na faixa de 1 a 80 Hz

Para sinais de velocidade de vibração na faixa 1 a 80 Hz a ponderação deve ser feita através da curva de atenuação definida no item **5.2.1**, apresentada na figura 1.

Para melhor avaliar o efeito das variações do nível de vibração ao longo do período em observação T , deve-se determinar o valor eficaz *instantâneo*, $V_{Pef}(t_0)$, assim definido pelo uso de curto tempo de integração (τ), calculado, conforme item **5.2.2**, pela equação:

$$V_{Pef}(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [v_w(t)]^2 dt \right\}^{1/2}, \text{ onde}$$

$v_w(t)$ é o sinal de velocidade de vibração ponderada, em mm/s;

τ é o tempo de integração, igual a 1,0 s no modo *Slow*;

t é a variável de integração, em s;

t_0 é o instante de observação, em s.

7.2.2 Sinais com frequências na faixa de 8 a 80 Hz

Para sinais na faixa de 8 a 80 Hz a resposta humana à vibração é considerada constante, igual a 0,1 mm/s (limite de sensibilidade definido pela **ISO 2631-2**) e, portanto, não é necessário ponderar o sinal da velocidade antes de calcular o valor eficaz *instantâneo*, $V_{Pef}(t_0)$.

7.3 Registro da Severidade da Vibração Ponderada

A Severidade da Vibração Ponderada - **SVP** deve ser determinada através de dispositivo tipo “Peak Hold”, registrando-se o máximo valor eficaz *instantâneo* da velocidade de vibração ponderada, $V_{Pef}(t_0)$, ao longo do período continuamente amostrado, tipicamente 2 minutos.

8. LIMITES DE ACEITABILIDADE

8.1 Avaliação do Conforto Ambiental

Para avaliação da vibração dos prédios quanto ao conforto ambiental utiliza-se a Severidade da Vibração Ponderada - **SVP**, através de níveis estabelecidos em função da área de ocupação do prédio, do período, de dia ou de noite, e do tipo de vibração, conforme tabela 1 apresentada a seguir.

Tabela 1: Níveis satisfatórios de Severidade da Vibração Ponderada – SVP com relação ao conforto das pessoas nos prédios

Condições		Vibrações Contínuas
Área de Ocupação	Período	SVP ^{1) 2) 3)} Severidade da Vibração Ponderada
Crítica (hospital, teatro, laboratório de precisão e outras)	Dia e Noite	0,1
Residencial	Dia	0,2
	Noite	0,1
Mista	Dia	0,3
	Noite	0,15
Industrial	Dia	0,4
	Noite	0,2

- 1) Máximo valor eficaz *instantâneo* da velocidade de vibração ponderada, $V_{Pef}(t_0)$, em mm/s
- 2) Níveis de severidade de vibração ponderada abaixo dos quais a probabilidade de reação é baixa. Não é considerado qualquer ruído acústico causado por vibração de portas, janelas ou paredes.
- 3) É admitida uma tolerância de 15 % em relação aos valores medidos.

ANEXO I

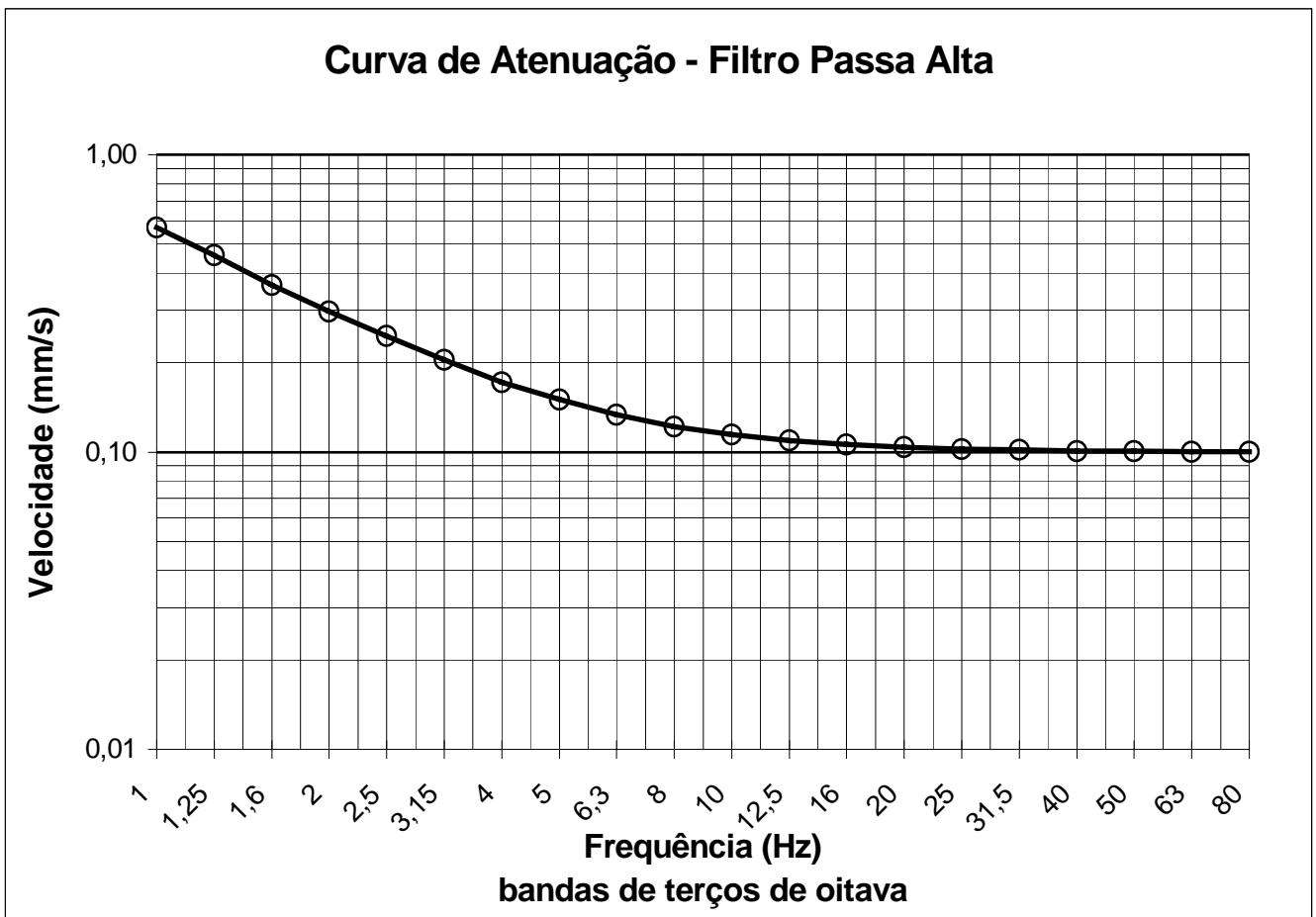


Figura 1 – Curva de ponderação da velocidade de vibração em função da frequência