

## AVALIAÇÃO DE INCOMODIDADE DEVIDO A VIBRAÇÕES COMPARAÇÃO DE CRITÉRIOS

PACS: 43.40

Carlos Aroeira<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> dBWave I

<sup>(1)</sup> Av. Prof. Dr. Cavaco Silva, 33

2740-120 Porto Salvo; Portugal

Tel: (+351) 214228197

Fax: (+351) 214228120

E.mail: cmaroeira.dbwave@isq.pt

### ABSTRACT

The assessment of discomfort, in its multiple facets, it is a very relevant issue in the current European society, due to the impact of the interpretation made by the Courts of Article 8 of the European Convention on Human Rights.

In what concern vibration, this situation create a new challenge to the testing laboratories, since they will have to advise on the existence of any discomfort, without being defined legal limits.

In this paper, various evaluation criteria of discomfort due to vibration, will be revised, and presented and discussed various experimental results.

### RESUMO

A avaliação da incomodidade, nas suas múltiplas vertentes, tornou-se numa questão muito relevante na sociedade europeia atual, devido ao impacto da interpretação efetuada pelos Tribunais do Artigo 8º da Convenção Europeia dos Direitos do Homem.

Em termos de vibrações, tal situação coloca aos laboratórios de ensaio um novo desafio, já que terão de se pronunciar sobre a existência de eventual incomodidade, sem que estejam definidos limites legais.

Neste artigo serão revistos, diversos critérios de avaliação de incomodidade devido a vibrações, sendo apresentados e discutidos os correspondentes resultados experimentais.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao dia de hoje a sociedade está muito atenta às questões ambientais. As pessoas estão cada vez mais cientes dos seus direitos e multiplicam-se as organizações que dão voz às suas exigências. Na comunicação social e na internet repercutem-se regularmente os ecos desta sensibilidade e, paralelamente, os tribunais dão cada vez mais atenção às suas reclamações. O poder judicial afirma repetidamente a sua autonomia face ao poder político e inúmeras vezes dá razão aos cidadãos, contra decisões administrativas e políticas dos organismos de estado. Neste entorno, todas as questões relacionadas como a incomodidade são críticas.

## 2 ENQUADRAMENTO LEGAL DO DIREITO AO CONFORTO

A nível Europeu o documento mais importante é a Convenção Europeia dos Direitos do Homem que estabelece:

### Artigo 8.º

#### (Direito ao respeito pela vida privada e familiar)

1. Qualquer pessoa tem direito ao respeito da sua vida privada e familiar, do seu domicílio e da sua correspondência.

Este direito também está estabelecido na Constituição da Republica Portuguesa:

### Artigo 66.º

#### Ambiente e qualidade de vida

1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

Tem sido entendido pelos tribunais que, incluído nestes direitos, está o direito das pessoas não serem incomodadas em sua casa, por isso poder afetar a sua saúde. Assim, apesar de não existirem, para as vibrações, limites estipulados em nenhuma lei, o direito ao conforto está bem salvaguardado na lei.

## 3 RESPOSTA HUMANA A VIBRAÇÕES EM EDIFÍCIOS

Nas habitações, é provável ocorrerem comentários adversos sobre vibrações no edifício quando os níveis de vibração, aos quais os ocupantes estão expostos, forem só ligeiramente superiores os limiares de perceção. Nos locais de trabalho, os comentários adversos frequentemente surgem a níveis bastante superiores, embora as pessoas com uma ocupação sedentária reajam mais como ocupantes de residências.

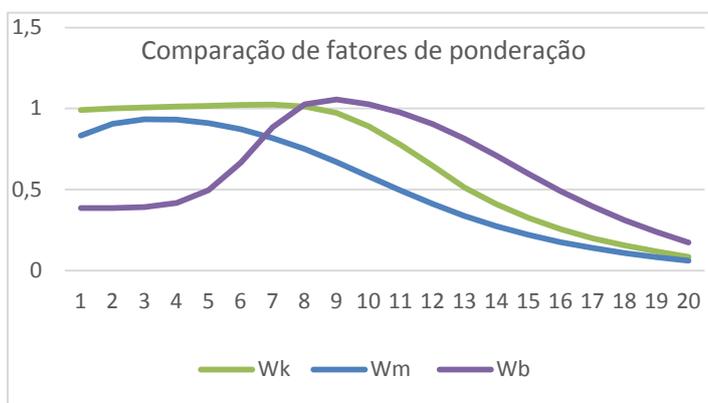
O critério a utilizar para avaliar a resposta humana requer considerações sobre o tipo de ocupação esperada no edifício (habitações, escritórios ou oficinas) e a atividade dos ocupantes.

Quer seja em casa ou no trabalho, a tolerância das pessoas varia num grande intervalo de valores, dependendo os valores específicos de fatores sociais e culturais, atitudes psicológicas e o esperado grau de intrusão.

### Resposta em frequência

A forma como as pessoas sentem as vibrações nos edifícios depende de vários fatores, incluído a frequência da vibração e direção. Quando se procede à avaliação da resposta humana são assim necessárias diferentes ponderações em frequência conforme o eixo do movimento. Na ISO 2631-2;2003 recomenda-se a utilização da ponderação  $W_d$  e  $W_k$  para as direções horizontais e vertical respetivamente, caso se conheça a postura dos ocupantes, ou a ponderação  $W_m$ , caso não seja conhecida. Na BS 6472-1;2008

recomenda-se a utilização da ponderação  $W_d$  e  $W_b$  para as direções horizontais e vertical respetivamente. A ponderação  $W_m$  é utilizada quando não se conhece a direção da excitação, como é muito comum em situações de incomodidade.



### Limiares de percepção

Os limiares de percepção para vibração variam grandemente de indivíduo para indivíduo. De acordo com a NP ISO 2631-1:2007 “Cinquenta por cento das pessoas (atentas e em boa forma física) conseguem detetar uma vibração ponderada com ponderação  $W_k$  com uma amplitude de pico igual a  $0.015 \text{ m/s}^2$ . Existe uma variação muito grande, de pessoa para pessoa, na capacidade de percepção de vibrações. Enquanto o limiar de percepção médio é aproximadamente igual a uma amplitude pico de  $0.015 \text{ m/s}^2$ , a gama de respostas pode variar de cerca de  $0.01 \text{ m/s}^2$  até  $0.02 \text{ m/s}^2$ .”

### Efeitos simultâneos

A forma como as pessoas num edifício reagem a um determinado nível de vibração, também pode depender de efeitos relacionados, que ocorrem em simultâneo. Os efeitos mais comuns são:

- Ruído nascido na estrutura devido a propagação por via sólida;
- Ruído aéreo;
- Ruídos de chocalhar induzidos;
- Efeitos visuais;
- Influências de terceiros.

### Atividade das pessoas

Um indivíduo, num edifício, sentir ou não uma vibração de uma determinada amplitude, depende do que a pessoa está fazendo, de onde está no edifício, como a pessoa está acoplada ao edifício e da direção dominante da vibração. Alguém que se desloque é menos sensível às vibrações que uma pessoa que não se mova, e que esteja num dado local. Se a pessoa estiver de pé o acoplamento é mais direto. Se estiver sentada o acoplamento é menos direto, particularmente se o assento for estufado. A construção do assento pode resultar nalgum isolamento de vibrações, ou pelo contrário, uma ressonância pode amplificar as vibrações. O mesmo se pode referir relativamente a camas.

### A atitude das pessoas

A reação humana em situações de conforto é hoje em dia, uma disciplina técnica bem estudada, entre outras coisas porque os fabricantes de veículos efetuam grandes investimentos para assegurar as melhores condições para os seus passageiros. Ou seja, está estabelecido cientificamente que o desconforto é subjetivo, e a reação humana em situações de conforto depende de diversos fatores independentes do agente físico que provoca a reação.

## 4 NORMALIZAÇÃO E RECOMENDAÇÕES

Face à ausência de limites legais, para avaliação da incomodidade de vibrações em Portugal são usadas diversas normas e recomendações a seguir referidas:

- O designado “critério do LNEC”
- A norma ISO 2631 Parte 1 e 2
- A norma BS 6472 (2008)

### O critério do LNEC

Este critério está definido num artigo<sup>1</sup> de 2001, e reflete anos de experiência do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O parâmetro de avaliação de incomodidade de vibração continuada utilizado é a velocidade eficaz, e é apresentado o seguinte quadro:

| $v_{ef}$ (mm/s)        | sensação   |
|------------------------|--|
| $v_{ef} < 0,11$        | nula   |
| $0,11 < v_{ef} < 0,28$ | perceptível, suportável para pequena duração                     |
| $0,28 < v_{ef} < 1,10$ | nítida, incómoda, podendo afetar as condições de trabalho        |
| $1,10 < v_{ef}$        | muito nítida, muito incómoda, reduzindo as condições de trabalho |

### A ISO 2631 Parte 1 e 2

A ISO 2631 não apresenta nenhum critério de avaliação de incomodidade. Apresenta no entanto indicações relevantes sobre esta questão que, de forma indireta, podem ser utilizadas

como critério para determinar se os níveis de vibração excedem o limiar de percepção, e se são suscetíveis de gerar incomodidade.

“A experiência mostra que, em muitos países, é frequente os ocupantes de edifícios residenciais queixarem-se das amplitudes de vibração desde que estas ultrapassem um pouco o limiar de percepção.” (Anexo 3 - C.3 Reações em termos de conforto a ambientes com vibrações NP ISO 2631-1\_2007)

“Cinquenta por cento das pessoas (atentas e em boa forma física) conseguem detetar uma vibração ponderada com ponderação  $w_k$ , com uma amplitude de pico igual a  $0.015 \text{ m/s}^2$ . Há uma variação muito grande de pessoa para pessoa na capacidade de percepção de vibrações. Sendo o limiar de percepção médio aproximadamente igual a  $0.015 \text{ m/s}^2$ , a gama de respostas pode variar de cerca de  $0.01 \text{ m/s}^2$  até  $0.02 \text{ m/s}^2$  (amplitude de pico).” (Anexo 3 - C.3 Percepção, NP ISO 2631-1\_2007)

Tem-se assim que se os níveis forem inferiores a  $0.010 \text{ m/s}^2$  de amplitude pico, medida com ponderação  $w_k$ , não pode existir incomodidade devido a vibrações, por estes níveis estarem abaixo do nível de percepção. Acima deste valor, pode ser que ocorra incomodidade.

#### **A norma BS 6472 (2008) - Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Vibration sources other than blasting**

Esta norma surge da necessidade de estabelecer um critério mais claro de avaliação de incomodidade de vibrações que o estabelecido na ISO 2631. Está dividida em Parte 1 e 2; a Parte 1 refere-se a vibrações que não as devidas a explosões, e a Parte 2 refere-se às vibrações devidas a explosões. A grandeza medida é a aceleração, com as ponderações  $W_d$  e  $W_b$  para as direções horizontais e vertical respetivamente.

O parâmetro utilizado para avaliação é o VDV (Vibration Dose Value), que é definido da

$$VDV_{b/d, day/night} = \left( \int_0^T a^4(t) dt \right)^{0.25}$$

seguinte forma:

Onde:

$VDV_{b/d, day, night}$  é ao valor de dose de vibração (em  $\text{m.s}^{-1.75}$ )  
 $a(t)$  é a aceleração ponderada em frequência (em  $\text{m.s}^{-1.75}$ ), utilizando as ponderações  $W_b$  ou  $W_d$  conforme apropriado.

T é o período total do dia ou noite (em s) durante o qual a vibração pode ocorrer.

Nesta norma é apresentada a seguinte tabela com os critérios de avaliação:

|   |
|---|
| Gamas de Valor de Dose de Vibração (VDV) que podem resultar em várias probabilidades de comentários adversos em edifícios de habitação (para escritórios e oficinas devem-se utilizar fatores multiplicadores de 2 e 4, respetivamente, aos valores referidos, para um dia de 16 horas) |
|---|

| Local e tempo                          | Reduzida probabilidade de comentários adversos | É possível ocorrerem comentários adversos | É provável ocorrerem comentários adversos |
|--|--|---|---|
| Edifícios de habitação, 16 horas, dia  | 0,2 a 0,4 m.s <sup>-1.75</sup>                 | 0,4 a 0,8 m.s <sup>-1.75</sup>            | 0,8 a 1,6 m.s <sup>-1.75</sup>            |
| Edifícios de habitação, 8 horas, noite | 0,1 a 0,2 m.s <sup>-1.75</sup>                 | 0,2 a 0,8 m.s <sup>-1.75</sup>            | 0,4 a 0,8 m.s <sup>-1.75</sup>            |

## 5 ENSAIOS

Em todos os ensaios foi utilizado um vibrometro SV979A e um acelerómetro triaxial de alta sensibilidade SV84.

### Caso 1

Este ensaio foi realizado num edifício de habitação devido a ocorrer uma queixa de incomodidade de vibrações. A fonte eram instalações técnicas, numa habitação vizinha onde tinham já sido feitas intervenções para reduzir os níveis gerados e transmitidos. Mesmo depois da intervenção persistiam as queixas. Foi efetuado um ensaio que consistiu na medição da amplitude das vibrações, no recetor, no ponto mais próximo da origem das vibrações, durante alguns dias.

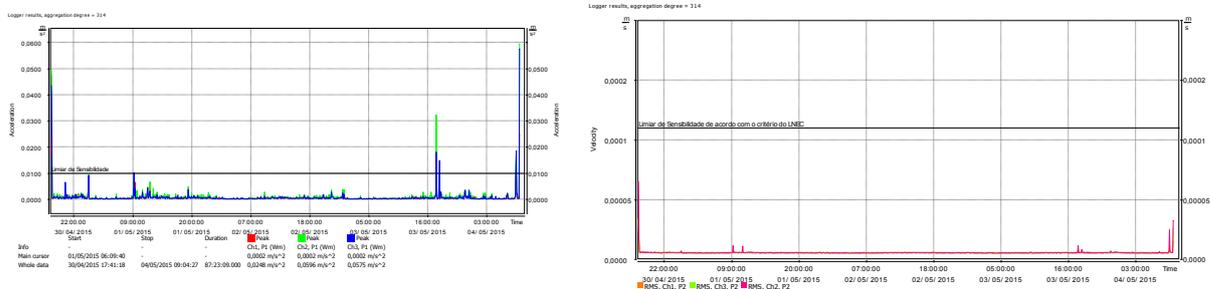


Figura 2 – Aceleração Pico (Wm), e Velocidade eficaz (1 Hz-20 KHz), medidas durante diversos dias, uma vez por segundo

Na Figura 2 no gráfico em aceleração podem-se observar excedências pontuais do limiar de sensibilidade do critério da ISO 2631 relacionadas com a presença de pessoas no recinto recetor. Não se consegue observar níveis vibratórios com patamares típico do funcionamento de instalações técnicas. No gráfico em Velocidade pode-se observar que o limiar definido no critério do LNEC, nunca é excedido, apesar de pontualmente, efetivamente se conseguirem sentir as vibrações.

Concluiu-se que as queixas de incomodidade estavam relacionadas com o histórico do funcionamento das instalações técnicas na habitação vizinha e com a atitude dos ocupantes do espaço face à situação.

**Caso 2**

Este caso refere-se a uma queixa de incomodidade num edifício de escritórios relacionado com o funcionamento de uma instalação industrial vizinha. Os ocupantes do escritório queixavam-se de sentir os vidros das janelas “a bater”. A fonte eram instalações industriais vizinhas onde existiam máquinas que funcionavam de modo pontual e eram fontes de vibrações. Foi efetuado um ensaio que consistiu na medição da amplitude das vibrações, no recetor, numa sala de reuniões, num ponto que se considerou representativo, enquanto as instalações industriais vizinhas se encontravam em funcionamento.

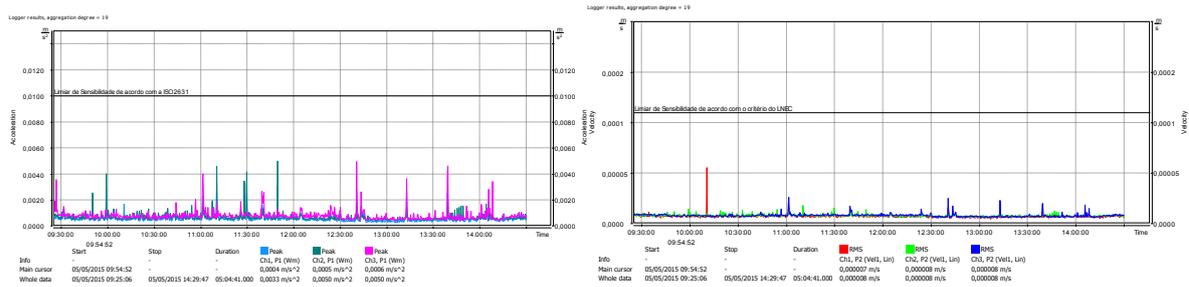


Figura 3 – Aceleração Pico (Wm), e Velocidade eficaz (1 Hz-20 KHz) medidas durante diversas horas, uma vez por segundo

Em nenhum momento se podem observar ultrapassagens dos limiares de sensibilidade.

Concluiu-se que as queixas de incomodidade estavam relacionadas com as ocorrências paralelas de “vidros a bater” e não com os níveis de vibrações no solo.

**Caso 3**

Este caso refere-se à caracterização de uma situação de referência numa habitação, em que não ocorriam queixas de incomodidade. Foi efetuado um ensaio que consistiu na medição da amplitude das vibrações, durante um fim-de-semana, numa sala, num ponto que se considerou representativo

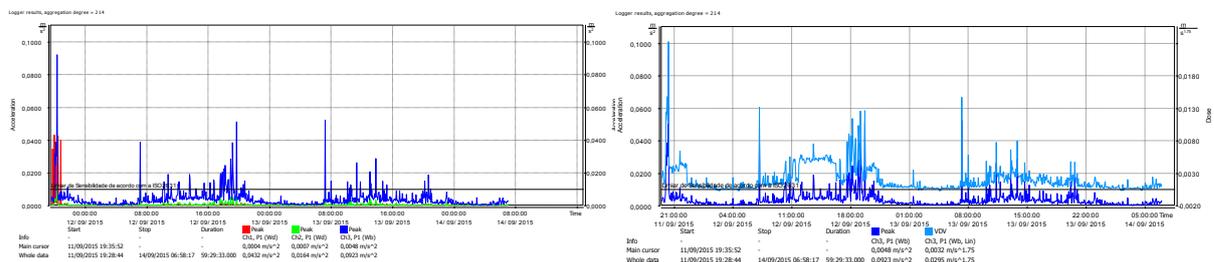


Figura 4 – Aceleração Pico, (Wd,Wm), e VDV medidos durante diversas dias, uma vez por segundo

Observam-se ultrapassagens dos valores limite indicados, sobretudo relacionados com a presença humana. Nota-se também que o valor do VDV, no gráfico da direita, como é natural excede o valor da amplitude pico, devido ao facto de ponderar mais o nível de vibrações.

## 6 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

### Sobre a subjetividade da resposta humana

A partir dos ensaios efetuados torna-se mais uma vez óbvio algo que já se sabe há muito, que consiste em poderem existir queixas de incomodidade de vibrações e os níveis nem sequer atingirem o limiar de percepção, ou pelo contrário, eles serem excedidos e não ocorrer qualquer queixa. Assim sendo a avaliação da incomodidade nunca poderá ser algo cem por cento objetivo, e tal já é refletido na normalização mais recente, nomeadamente na BS 6472 (2008), em que não são referidos valores absolutos, mas sim intervalos de avaliação, e desta forma é dada uma margem ao avaliador para efetuar uma recomendação de limite para cada caso específico.

A partir dos ensaios referidos torna-se mais uma vez evidente que a identificação da fonte das vibrações e efeitos paralelos é muito relevante para a compreensão e avaliação das queixas de incomodidade de vibrações, devido á forte influência que têm na reação humana relativamente a vibrações em edifícios.

### Sobre os níveis de vibrações e a forma dos medir

Também é sabido que a reação humana se refere ao que se sente, ou se pensa sentir, e não relativamente a valores médios. Assim a utilização exclusiva de valores médios é sempre uma forma inadequada de avaliar a incomodidade sendo mais aconselhável a utilização de valores pico. A obtenção do registo da história temporal dos valores pico, nas três direções ortogonais, por períodos prolongados, é uma ajuda essencial para perceber os fenómenos em causa e estabelecer a pertinência da queixa. Ainda assim, a ponderação do tempo de exposição é sempre relevante porque a resposta humana é influenciada por este fator.

Os sensores utilizados devem ser de alta sensibilidade, para permitir medir a vibração “residual” de forma a permitir evidenciar claramente os eventos vibratórios relevantes.

### Sobre a resposta em frequência

A influência da frequência da vibração está hoje em dia, bem contemplada na normalização, através da utilização dos filtros de ponderação em frequência das vibrações medidas, embora se espere ainda assistir a uma evolução nesta área.

## 7 CONCLUSÃO

Desde há muito que se conhece a componente subjetiva da resposta humana, em situações de conforto, originando que o estabelecimento de critérios objetivos de avaliação de incomodidade, com resposta satisfatória em todas as circunstâncias possíveis, seja sempre algo muito complexo, ou mesmo impossível.

Aqui foi revisto um critério e alguma normalização existente, tendo a sua aplicação sido analisada face a três casos concretos.

Foram também revistos alguns aspetos relacionados com a instrumentação de medida e respetivos procedimentos de utilização.

## REFERÊNCIAS

1 Vibrações ambientes. Critérios de danos e de incomodidade. Actualidade e perspectivas futuras. Schiappa de Azevedo, Fernando; Patrício, Jorge, TECNIACUSTICA 2001

2 NP ISO 2631-1\_2007 Vibrações mecânicas e choque - Avaliação da exposição do corpo humano a vibrações, Parte 1 - Requisitos gerais

3 ISO 2631-2\_2003 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to wholebody vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

4 BS 6472 (2008) - Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Vibration sources other than blasting