

VIBRAÇÕES NO LOCAL DE TRABALHO – CASOS PRÁTICOS DE AVALIAÇÃO

Luís Conde Santos¹, Jorge R. Preto¹, Clotilde A. Lages¹

¹dBLab – Laboratório de Acústica e Vibrações, Lda

www.absorsor.pt

luis.conde@absorsor.pt ; jorge.preto@absorsor.pt ; clotilde.lages@absorsor.pt

Resumo

O decreto-lei n.º 46/2006, que transpõe para a legislação portuguesa a directiva 2002/44/CE, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações), visa promover a melhoria das condições de trabalho, a fim de garantir um melhor nível de protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores.

Nesta comunicação são apresentados casos práticos de avaliação da exposição a vibrações no local de trabalho, quer no corpo inteiro quer no sistema mão-braço, cobrindo diversos tipos de indústrias. São apresentados resultados dos valores de vibração registados para os mais variados tipos de equipamentos produtores de vibrações, num vasto número de ensaios acreditados realizados pelo dBLab – Laboratório de Acústica e Vibrações, segundo as normas ISO 5349-1/2:2001 e NP ISO 2631-1:1997.

Palavras-chave: vibrações, mão-braço, corpo inteiro, saúde, exposição.

Abstract

The European Directive 2002/44/CE, on vibration exposure at the workplace, has been transposed to the Portuguese Law by DL 46/2006 which aims at promoting the improvement of working conditions in order to guarantee a higher level of protection of health and safety of workers.

This paper presents practical cases of vibration exposure evaluation at the workplace, both for WBV (whole body vibration) and for HAV (hand-arm vibration), covering different types of industries. Results are presented for several types of vibrating equipments, taken from a wide number of accredited measurements performed by dBLab's laboratory, according to ISO 5349-1/2:2001 e NP ISO 2631-1:1997.

Keywords: vibration, hand-arm, human body, health, exposure.

1 Introdução

Até à publicação do DL 46/2006 [1], em 24 de Fevereiro de 2006, que transpôs a Directiva 2002/44/CE [2], de 25 de Junho de 2002, não existia regulamentação portuguesa específica que assegurasse a protecção dos trabalhadores contra os riscos decorrentes da exposição a vibrações. Essa publicação constituiu um marco extremamente importante, na medida em que passou a haver um requisito regulamentar para esta importante causa de doenças profissionais, traduzindo-se na necessidade de realizar avaliações periódicas da exposição dos trabalhadores a vibrações, estabelecendo valores de acção e valores limite.

Tal como enfatizado no preâmbulo do DL 46/2006, as vibrações são agentes físicos nocivos que afectam os trabalhadores e que se encontram presentes em quase todas as actividades, nomeadamente em construção e obras públicas, indústrias extractivas, exploração florestal, fundições e transportes. Os efeitos sobre a saúde e segurança dos trabalhadores podem incluir perturbações musculoesqueléticas, neurológicas e vasculares, entre outras.

No caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço, que são aquelas cujos efeitos se encontram melhor determinados, são bem conhecidos os problemas vasculares resultantes da exposição a este tipo de vibrações, designados por “síndrome dos dedos brancos”, síndrome de Raynaud de origem profissional e doença traumática dos vasos sanguíneos (vasospástica). O desenvolvimento deste síndrome depende de muitos factores, como sejam: o nível de vibrações a que o trabalhador está sujeito, a duração diária de exposição, o tempo acumulado de exposição ao longo de horas, meses ou anos, a temperatura no espaço de trabalho (em particular a temperatura das mãos), o método de trabalho e a ergonomia das tarefas profissionais. Estes aspectos foram levados em conta na definição dos parâmetros de avaliação e nos valores de acção e limite definidos na legislação, recomendando-se ainda a leitura do “Guia de Boas Práticas” dedicado a este tema referenciado em [3].

No caso das vibrações transmitidas ao corpo inteiro, trata-se de uma área menos estudada e em que os efeitos sobre a saúde são menos conhecidos, exceptuando o caso particular da transmissão de vibração através do assento, na posição sentado, cujos efeitos são já relativamente bem conhecidos. Como referido na Norma NP ISO 2631-1:2007, tais efeitos incluem um aumento do risco de saúde da coluna dorsal e do sistema nervoso dos segmentos afectados. Isto pode dever-se ao comportamento biodinâmico da coluna: deslocamento horizontal e torção dos segmentos da coluna vertebral. Uma tensão mecânica excessiva e/ou distúrbio da nutrição e difusão para o tecido do disco pode contribuir para processos degenerativos nos segmentos lombares (espondilose deformante, osteocandrose intervetebral, artrose deformante). Pode ainda piorar certos distúrbios patológicos da coluna vertebral. Menos bem determinados são os eventuais efeitos sobre o sistema digestivo, o sistema genital/urinário, e os órgãos reprodutivos femininos, para os quais se admite actualmente que possam ocorrer. Em qualquer dos casos, as alterações na saúde causadas pela vibração no corpo inteiro levam anos a processar-se. Recomenda-se a leitura do “Guia de Boas Práticas” dedicado a este tema referenciado em [4].

2 Procedimentos de medida

2.1 Vibrações transmitidas ao sistema mão-braço

As técnicas de medição e avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas ao sistema mão-braço são descritas nas Normas ISO 5349-1:2001 [5] e ISO 5349-2:2001 [6]. Essas medições são realizadas de acordo com o sistema de coordenadas apresentado na seguinte figura.

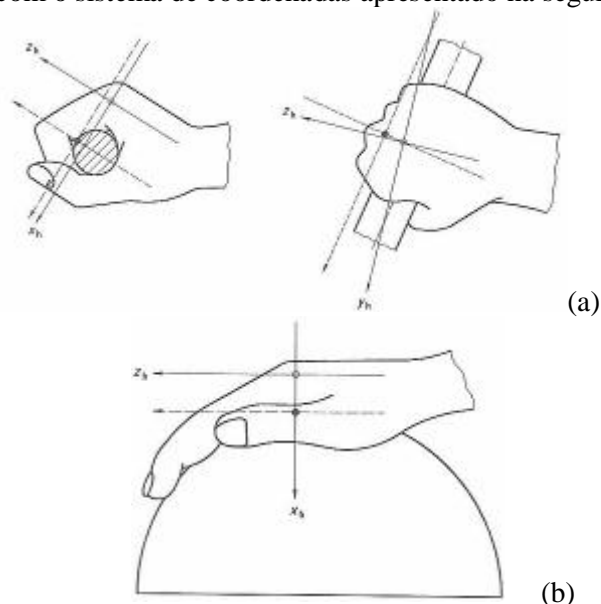


Figura 1 – Sistema de coordenadas utilizado para o sistema mão-braço, sendo (a) o caso de apreensão numa barra cilíndrica e (b) o caso de pressão sobre uma esfera [1].

As medições são efectuadas com um analisador de vibrações que permite obter a aceleração ponderada para cada direcção x, y, z (a_{hwi}), assim como o valor total dos valores eficazes da aceleração ponderada em frequência (a_{hv}), determinados segundo as coordenadas ortogonais e dado pela seguinte expressão, em m/s^2 :

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hWx}^2 + a_{hWy}^2 + a_{hWz}^2} \quad (1)$$

Geralmente a medição é realizada para as várias situações de exposição do trabalhador e para as duas mãos do operador, sendo seleccionado o resultado da mão com o valor mais elevado.

A exposição diária às vibrações é determinada em termos do valor total da vibração contínua equivalente, ponderada em frequência para um período de 8 horas, $A(8)$. É calculada de acordo com a seguinte expressão considerando as 8 horas para o período de tempo T_0 e o tempo de exposição T_i referente à duração de cada actividade:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (2)$$

Em que:

- a_{hvi} – é o valor total da vibração para a $i^{\text{ésima}}$ tarefa;
- n – é o número de exposições parciais às vibrações;
- T_i – é a duração da $i^{\text{ésima}}$ tarefa
- T_0 – é a duração de referência de 8 h

2.2 Vibrações transmitidas ao corpo inteiro

As técnicas de medição e avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas ao corpo inteiro são descritas na Norma NP ISO 2631-1:2007 [7]. A determinação do nível de exposição dos trabalhadores às vibrações transmitidas ao corpo inteiro é realizada com base no cálculo da exposição pessoal diária, para um período de oito horas, expressa como uma aceleração contínua equivalente, utilizando o sistema de coordenadas representado na figura seguinte.

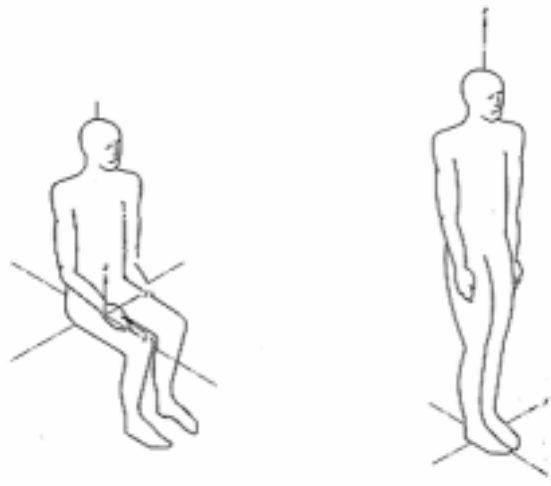


Figura 2 – Sistema de coordenadas utilizado para o corpo inteiro, para as posições em pé, sentado e deitado (sistema de eixos basicêntricos).

A aceleração eficaz ponderada é determinada para cada eixo x , y e z , sendo a determinação da vibração efectuada com base no valor eficaz mais elevado das acelerações ponderadas em frequência, medidas segundo os três eixos ortogonais. Neste caso, tendo em conta as diferentes reacções do corpo humano a vibrações segundo a horizontal e segundo a vertical, particularmente na posição sentado com vibração transmitida pelo assento, a ponderação na frequência para os eixos x e y (filtro W_d e factor multiplicativo $k = 1,4$) é diferente da aplicada para o eixo z (filtro W_k e factor multiplicativo $k = 1,0$).

A exposição diária às vibrações, $A(8)$, é expressa em metros por segundo quadrado e é obtida usando a fórmula:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wi}^2 T_i} \quad (3)$$

onde:

- a_{wi} - é a amplitude da vibração para uma exposição de duração T_i ;
- n - é o número de exposições parciais às vibrações;
- T_0 - é a duração de referência de oito horas (28 800 segundos);

A vibração que é transmitida ao corpo é medida entre o corpo e a superfície de apoio. O transdutor de vibração é triaxial e deve ser localizado de forma a indicar a vibração na interface entre o corpo e a fonte da vibração.

3 Casos práticos de avaliação

No âmbito da sua actividade como laboratório acreditado para avaliação de exposição a vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e de exposição do corpo humano a vibrações, o dBLab tem realizado um número crescente de avaliações, correspondendo ao natural aumento de solicitações decorrente da necessidade das empresas, e outras organizações cujos trabalhadores estejam expostos a vibrações, se irem adaptando à legislação em vigor. Neste contexto, o número de ensaios acumulados permite já fazer uma síntese de alguns resultados obtidos, para alguns equipamentos específicos, que apresentamos em seguida, sem qualquer pretensão de se tratar de um estudo exaustivo dado que, apesar de tudo, o universo de amostras considerado é ainda relativamente modesto.

3.1 Avaliação de vibrações transmitidas ao sistema mão-braço

Dado tratar-se de equipamentos muito comuns, e para os quais se dispõe de mais dados acumulados, ir-se-ão analisar os casos dos seguintes equipamentos: rebarbadoras (27 amostras) e martelos pneumáticos (15 amostras), sendo estes últimos dos equipamentos que maiores níveis de vibração provocam nos respectivos operadores.



Figura 3 – Exemplo de montagem de acelerómetro triaxial em rebarbadora para medição de vibrações para mão esquerda e mão direita.



Figura 4 – Exemplo de medição das vibrações transmitidas para a mão esquerda do operador de martelo pneumático.

Tabela 1 – Exemplo ilustrativo de resultados de medições de vibrações de rebarbadora e de martelo pneumático (pequena amostra do conjunto de medições utilizado na análise das tabelas seguintes)

Posto de trabalho	Designação	Mão-braço	a_{hwi} (RMS. m/s ²)			a_{hv} m/s ²	a_{hv} MAX m/s ²
			Direcção				
			x	y	z		
P1	Rebarbadora	esquerdo	7,15	3,81	4,08	9,07	9,07
		direito	2,53	3,28	5,86	7,17	
P2	Martelo Pneumático	esquerdo	14,3	6,14	3,39	16	17,1
		direito	15,7	6,07	2,92	17,1	

Tabela 2 – Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão para a mão esquerda

Máquina	Mão-esquerda (a_{hwi})											
	x				y				z			
	Média	MAX	MIN	Desvio padrão	Média	MAX	MIN	Desvio padrão	Média	MAX	MIN	Desvio padrão
Rebarbadoras	5,8	7,2	3,8	1,4	3,5	4,6	2,4	0,7	3,6	4,5	2,5	0,8
Martelos pneumáticos	15,3	21,9	9,8	5,0	7,7	11,8	5,2	2,9	8,0	14,4	3,4	4,7

Tabela 3 – Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão para a mão esquerda

Máquina	Mão-direita (a_{hwi})											
	x				y				z			
	Média	MAX	MIN	Desvio padrão	Média	MAX	MIN	Desvio padrão	Média	MAX	MIN	Desvio padrão
Rebarbadoras	4,1	7,6	2,3	1,9	3,7	5,5	2,6	1,0	4,7	7,7	2,5	2,0
Martelos pneumáticos	13,4	21,9	2,7	8,0	4,6	6,1	2,6	1,5	3,7	6,2	2,1	1,8

Tabela 4 – Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão para os valores globais

Máquina	GLOBAL (a_{hv})			
	Média	MAX	MIN	Desvio-padrão
Rebarbadoras	8,2	10,4	5,5	1,9
Martelos pneumáticos	20,5	23,4	17,1	2,6

O DL 46/2006 especifica um valor limite de exposição de 5 m/s^2 e um valor de acção de $2,5 \text{ m/s}^2$. Da análise dos resultados verifica-se que, com base nos valores médios de a_{hv} no conjunto das amostras consideradas neste estudo, para cumprir os valores limite de exposição, uma rebarbadora média estaria limitada a um tempo máximo de utilização por um mesmo trabalhador de cerca de 3 horas diárias, enquanto um martelo pneumático médio estaria limitado a uma utilização de duração inferior a cerca de meia hora por dia. De notar que, tomando os valores máximos – ou seja o máximo de vibração dos equipamentos com mais vibração de entre os testados – esses tempos desceriam para menos de 2 h no caso da rebarbadora e para cerca de 20 min no caso do martelo pneumático.

Enquanto no primeiro caso, um tempo de utilização efectiva limitado 3h/dia se afigura possível de conseguir na maior parte das situações, para o caso do martelo pneumático afigura-se necessário que, de uma maneira geral, sejam tomadas medidas específicas de que se destacaria a rotatividade de trabalhadores e a substituição de equipamentos mais antigos por outros mais modernos, tendo como factor decisivo de selecção os valores de vibração declarados pelo fabricante. Os elevados valores de desvio padrão encontrados para os martelos pneumáticos é na verdade sintomático de uma grande variabilidade neste tipo de equipamentos. Formação e sensibilização dos operadores deste tipo de equipamentos, conjugado com a utilização permanente de luvas adequadas, serão ainda medidas aconselháveis no contexto da utilização de martelos pneumáticos. Naturalmente que, nalguns casos, seria de avaliar a possibilidade de alteração do processo, ou seja, evitar a necessidade de utilização do martelo pneumático ou, pelo menos, limitar o mais possível a necessidade da sua utilização.

3.2 Avaliação de vibrações transmitidas ao corpo inteiro

Para o corpo inteiro foram seleccionados quatro casos de equipamentos móveis bastante comuns, a saber: empilhador (142 amostras), camião “dumper” (9 amostras), pá-carregadora (39 amostras) e giratória (15 amostras).



Figura 5 – Exemplo de medição das vibrações transmitidas ao corpo inteiro num empilhador eléctrico.



Figura 6 – Exemplo de medição das vibrações transmitidas ao corpo inteiro numa giratória.

Tabela 5 – Exemplo ilustrativo de resultados de medições de vibrações de empilhador, “dumper”, pá-carregadora e giratória (pequena amostra do conjunto de medições utilizado na análise das tabelas seguintes).

Designação	Eixo	a_w (RMS, m/s^2)	$k.a_w$	$k.a_w$ <i>MAX</i> (m/s^2)
Empilhador eléctrico	x	0,198	0,278	0,278
	y	0,181	0,253	
	z	0,197	0,197	
Dumper	x	0,69	0,97	1,19
	y	0,73	1,02	
	z	1,19	1,19	
Pá carregadora	x	1,01	1,41	1,92
	y	1,01	1,41	
	z	1,92	1,92	
Giratória com martelo	x	0,27	0,38	0,59
	y	0,42	0,59	
	z	0,45	0,45	

Tabela 6 – Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão para os valores globais

Máquina	$k.a_w$ (m/s ²)			
	Média	MAX	MIN	Desvio-padrão
Empilhador	0,72	2,7	0,24	0,46
Dumper/camião	0,82	1,19	0,61	0,20
Pá-carregadora	0,96	1,92	0,59	0,32
Giratória	0,45	0,71	0,18	0,20

O DL 46/2006 especifica um valor limite de exposição de 1,15 m/s² e um valor de acção de 0,5 m/s². Da análise dos resultados verifica-se que, com base nos valores médios de $k.a_w$ no conjunto das amostras consideradas neste estudo, os valores limite de exposição são automaticamente cumpridos dentro de um horário normal de trabalho de 8h/dia. No entanto, tomando os valores máximos – ou seja o máximo de vibração dos equipamentos com mais vibração de entre os testados – esses tempos desceriam para menos de 1h30m no caso do empilhador, cerca de 7h30m no caso do “Dumper” e para cerca de 3h no caso da pá carregadora, mantendo-se sem problemas a giratória.

Os valores apresentados evidenciam bem as grandes diferenças existentes entre as várias amostragens, o que tem a ver não apenas com o tipo de equipamento, mas também com as condições de operação. No caso dos empilhadores, onde se verificam as maiores diferenças, traduzidas no valor mais elevado do desvio padrão, o factor mais crítico tem a ver com as condições do pavimento por onde circula o veículo. Pavimentos com muitas rugosidades, ou com descontinuidades acentuadas, provocam aumentos dramáticos nos valores da vibração a que se encontra sujeito o operador do veículo. É de salientar que os valores de vibração mais elevados observados em empilhadores ocorreram quase sempre segundo a direcção vertical, z, o que tem a ver com o facto de a vibração se originar sobretudo no rolamento do veículo por superfícies rugosas ou com descontinuidades. Uma forma eficaz de reduzir essas vibrações consiste em tornar o pavimento mais liso nas zonas de circulação de empilhadores, por exemplo criando rampas para suavizar descontinuidades, ou em alterar os respectivos circuitos de modo a evitar passar perpendicularmente a juntas no pavimento, como sejam ressaltos, caleiras de escoamento, etc.

Nos “Dumpers”, a componente z tende também a ser a que apresenta valores mais elevados, embora se atenuem com a aplicação do factor 1,4 às componentes segundo x e y, o que também se deve à rugosidade típica dos estradões em que geralmente circulam este tipo de veículos, como é o caso de pedreiras e estaleiros de construção civil. Os equipamentos deste tipo testados não apresentaram diferenças significativas entre si no que respeita às vibrações.

As pás carregadoras testadas apresentaram valores de vibração muito semelhantes nos três eixos, embora tal possa depender naturalmente das operações que estão a realizar e do tipo de terreno em que operam. Neste caso verificaram-se diferenças significativas nos valores de vibração registados com equipamentos diferentes, traduzindo-se num valor relativamente elevado do desvio padrão.

Quanto às giratórias testadas, foi o tipo de equipamento onde se registaram valores mais baixos de vibrações, ficando mesmo os valores mais elevados obtidos sempre abaixo do valor limite, permitindo a sua operação durante 8h/dia sem ultrapassar esse valor, sendo que apenas num dos casos, para uma exposição de 8h, seria ultrapassado o valor de acção.

4 Conclusões

O decreto-lei n.º 46/2006, que transpôs para a legislação portuguesa a directiva 2002/44/CE, tem vindo a ser aplicado num número crescente de empresas, contribuindo assim para promover a melhoria das condições de trabalho e garantir um melhor nível de protecção da segurança e da saúde dos trabalhadores, designadamente no que respeita aos riscos decorrentes às vibrações.

Nesta comunicação foram apresentados casos práticos de avaliação da exposição a vibrações no local de trabalho, quer no sistema mão-braço, quer no corpo inteiro quer, apresentando-se resultados obtidos com vários tipos de equipamentos. Os resultados permitiram concluir que alguns tipos de equipamentos de uso manual apresentam riscos muito elevados para os seus utilizadores, destacando-se o caso do martelo pneumático. Para os casos apresentados concluiu-se que, em média, um trabalhador não deveria operar esse tipo de equipamento mais de meia hora por dia o que, naturalmente, coloca desafios à organização de certos tipos de trabalhos e, também, aos fabricantes deste tipo de equipamentos ou de outros que os possam substituir. Quanto a equipamentos que transmitem vibrações ao corpo inteiro, verificou-se de uma maneira geral os problemas são menos críticos do que nas ferramentas manuais, embora por vezes surjam valores de vibração elevados onde se poderia esperar que tal não acontecesse – é o caso de empilhadores, em que um dos casos testados implicaria uma limitação de utilização de 1h30m / dia para cumprir o valor limite, o que se deverá não apenas ao facto de se tratar de um equipamento antigo, mas também, e sobretudo, ao tipo de pavimento em que circula.

Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro de 2006. *Diário da República*, número 40, I-A série 2006, páginas 1531-1538.
- [2] Directiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* de 6.7.2002, pp. L177/13 a L177/19.
- [3] Guide to good practice on Hand-Arm Vibration. *European Commission Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities*. 12/06/2006.
- [4] Guide to good practice on Whole-Body Vibration. *European Commission Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities*. 12/06/2006.
- [5] ISO 5349-1:2001. *Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements*. International Organization for Standardization.
- [6] ISO 5349-2:2001. *Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace*. International Organization for Standardization.
- [7] NP ISO 2631-1:2007. *Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais*. Instituto Português da Qualidade.