

VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO EM CONDUTORES DE AUTOCARROS – ISO 2631-5:2018.

Marcelo Soares¹, Kemislani Lima¹, Maria Luísa Matos^{1,2}

¹Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP)

marcelodepsb@gmail.com, kemislani@gmail.com, mlmatos@fe.up.pt

²Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)

Resumo

As vibrações de corpo inteiro (VCI), são vibrações mecânicas transmitidas ao corpo inteiro a que os motoristas de autocarros são expostos diariamente. Após vários anos de exposição a VCI, estas podem gerar diversos problemas de saúde ao trabalhador como: perda de equilíbrio, falta de concentração, lesões musculoesqueléticas e alterações degenerativas da coluna lombar. A análise realizada neste estudo é baseada no dia laboral de condutores de autocarros da cidade do Porto tendo como objetivo determinar a severidade da VCI a que estão expostos. Para esta análise foram utilizados a normas NP ISO 2631-1:2007 e ISO:2631-5:2018 em consonância com a Diretiva 2002/44/CE, que estabelece limites diários de exposição diários a VCI. O fator R^A da norma 2631-5:2018 foi calculado e a sua severidade foi determinada como baixa em todas as análises realizadas.

Palavras-chave: vibração ocupacional; VCI; autocarro; ISO 2631-5:2018; saúde.

Abstract

Whole-body vibrations (WBV) are mechanical vibrations transmitted to the whole body to which bus drivers are exposed daily. After several years of exposure to WBV, they can generate several health problems for the worker, such as loss of balance, lack of concentration, musculoskeletal injuries and degenerative changes in the lumbar spine. The analysis carried out in this study is based on the working day of bus drivers in the city of Porto to determine the severity of the WBV to which they are exposed. For this analysis, the NP ISO 2631-1:2007 and ISO: 2631-5:2018 standards were used in line with Directive 2002 /44 / EC that establishes daily limits for daily exposure to WBV. The R^A factor of norm 2631-5:2018 was calculated and its severity was determined to be low in all analyzes performed.

Keywords: occupational vibration; WBV; bus; ISO 2631-5:2018; health.

PACS no. 43.40, 43.40.Ng

1. Introdução

1.1. Vibrações

O Parlamento Europeu em 25 de junho de 2002 determinou pela Diretiva 2002/44/CE os requisitos mínimos de segurança e saúde do trabalho para trabalhadores expostos ao risco devido a vibrações. “«Vibrações transmitidas a todo o organismo», que consiste em vibrações mecânicas que, quando transmitidas a todo o organismo, implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial patologia da região lombar e lesões da coluna vertebral”, denominadas por vibrações de corpo inteiro (VCI).”

Genericamente a vibração é definida pela sua magnitude (tradicionalmente descrita usando aceleração, expressa em m/s^2) e a frequência (o número de vezes por segundo que o corpo vibrátil se move para trás e para a frente, expressa em ciclos por segundo, ou hertz (Hz)) [11].

As vibrações que afetam o corpo inteiro são transmitidas através dos pés de uma pessoa, através das nádegas de uma pessoa sentada ou através da área de suporte de uma pessoa prostrada. A vibração do corpo inteiro pode corresponder a posturas em pé, em solos ou plataformas de vibração ou à condução dos mais variados meios de transporte [5].

As vibrações devem ser medidas isoladamente de acordo com as direções de um sistema de coordenadas ortogonal, uma vez que originam respostas biodinâmicas diferentes para cada eixo de medição. Uma vez que o espaço em análise é tridimensional, há a necessidade primária de assumir sistemas de coordenadas para descaracterizar a vibração nas três direções que o definem (x, y, z) [3].

Quando a vibração é provocada unicamente por um deslocamento inicial em relação à posição de equilíbrio estático ou por uma velocidade inicial, designa-se por vibração livre. Se a vibração do sistema resultar de uma força externa que o faz vibrar continuamente, designa-se vibração forçada. Neste tipo de vibrações, se a frequência de vibração coincidir com a frequência natural do sistema, produz-se o denominado efeito de ressonância. A frequência de ressonância resulta na amplificação da vibração, comprometendo a integridade das estruturas que suportam o sistema, nomeadamente o corpo humano [11].

1.2. VCI em condutores de autocarros urbanos

Os condutores de autocarros urbanos estão potencialmente expostos a níveis de vibração diários que podem ser superiores aos valores recomendados [4].

A intensidade das vibrações pode variar significativamente consoante o tipo de piso, o design do assento e o condutor, nomeadamente o peso, posição ou postura de condução, experiência profissional e velocidade de circulação [2].

Outros fatores que influenciam a intensidade das vibrações são: as considerações do design (tipo de assento, suspensão do assento e da cabine, localização da cabine, tipo de veículo e manutenção do veículo) e as características e experiência do condutor (peso, posição ou postura de condução, experiência profissional e velocidade de circulação) [10,13].

Não obstante, é ainda, reconhecido como fonte de vibrações, o sistema de suspensão do veículo [12], bem como, o sistema de transmissão deste [8]. É recomendado a adoção do sistema de transmissão manual em detrimento do automático, uma vez que este permitirá efetuar mudanças de marcha mais suaves, reduzindo a intensidade dos “abalos” sentidos durante a aceleração e desaceleração do veículo [8].

1.3.Principais efeitos da exposição a VCI

O corpo humano é uma sofisticada estrutura biomecânica, sendo que a sensibilidade à vibração depende de vários fatores: postura, tensão muscular, frequência, amplitude, duração da vibração e dose de exposição [1].

Os condutores apresentam um grande risco de desenvolverem problemas de hérnias discais. A maior carga dinâmica no tronco humano e na espinha ocorre quando o corpo está na postura sentada, vibrando verticalmente na faixa dos 4 aos 8 Hz (frequência natural dessa região do corpo humano) [1].

Relativamente aos condutores profissionais, muitos estudos afirmam uma relação direta entre a exposição a VCI e o desenvolvimento de lesões musculoesqueléticas [9].

Os condutores de autocarro passam 60% do seu tempo de laboração a conduzir, na maioria das vezes com o tronco reto ou sem suporte e executam tarefas manuais leves [8]. As principais posturas praticadas pelos condutores de autocarro ao longo da sua atividade estão expostas na Figura 1.



Figura 1 – Posturas frequentemente adotadas em condutores de autocarros urbanos [8].

1.4.Enquadramento Legal e Normativo

Os valores limite de exposição legais e normativos, assim como os requisitos gerais para a medição e tratamento das VCI, encontram-se estabelecidos nos seguintes documentos:

- Diretiva nº 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, que estabelece os valores limite de exposição (VLE) e os valores de ação (VA) para a exposição diária à vibração (A(8)) e para o valor estimado de dose de exposição (eVDV).
- Norma Portuguesa NP ISO 2631-1:2007 [6]. Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: requisitos gerais.
- Norma ISO 2631-5:2018 [7] Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks.

2. Metodologia

2.1.Equipamento

Na recolha dos dados realizada no assento das viaturas foi utilizado um acelerómetro tri-axial modelo SV38 (faixa de medição de 0,1 a 100 Hz e a frequência de amostragem de 6000 Hz) e armazenado num registador de dados modelo SV 106 ambos da marca Polaka SVANTEK. Os instrumentos usados atendem aos requisitos das norma ISO 2631-5:2018 [7]. A passagem dos dados de vibração foi feita utilizando o software SVAN PC++, versão 3.3.19 da SVANTEK e a análise dos dados foi realizada com o software “Risk_Assessment_ISO.exe” que faz parte integrante da norma ISO 2631-5:2018.

2.2. Definição dos percursos, amostra de condutores e veículos

Foram selecionados três percursos distintos (percurso 1, 2 e 3) que apresentam características mistas. Dois deles são constituídos por troços urbanos e troços em zonas mais rurais (percurso 1 e 2) e o percurso 3 é totalmente percorrido em troços urbanos. Os percursos apresentam heterogeneidade de tipo de piso e todos apresentam trechos em asfalto e trechos em empedrado.

Relativamente aos condutores (Tabela 1), a amostra foi constituída por três elementos (condutor A, B e C) e cada um deles realizou dois ciclos de medição (duas viagens de ida e duas viagens de volta completas seguidas) em cada percurso.

Tabela 1 – Caracterização da amostra da monitorização de VCI.

	Condutores		
	A	B	C
Género	Masculino	Masculino	Masculino
Idade	36	35	40
Peso (kg)	111	84	90
Altura (cm)	178	184	180
Experiência profissional na condução de autocarros (anos)	12	13	14
Exposição diária a VCI (horas)	6,40	6,40	6,40

A análise foi realizada em veículos do tipo *Standard* e foram atribuídos conforme a logística da empresa e do serviço que estava definido, tendo as medições sido realizadas em veículos diferentes todos os dias.

2.3. Medição

Foi estudada a via de transmissão de VCI através do assento, tendo sido a medição da vibração realizada segundo os três eixos (longitudinal = eixo x; lateral = eixo y e vertical = eixo z).

O tempo de medição para cada um dos percursos foi duas viagens de ida e duas viagens de volta completas seguidas, conforme a Tabela 2. A duração da medição foi suficiente para garantir a representatividade das exposições. Os condutores dos autocarros estavam sentados na posição vertical e não foi identificada nenhuma perda de contato com o assento durante a recolha de dados.

Tabela 2 – Caracterização da monitorização de VCI.

Percorso	Condutor	Horário de medição	Tempo total de medição na superfície do assento (h)
1	A	7h13-11h13	2,32
	B	8h45-12h28	2,68
	C	11h53-15h23	2,48
2	A	9h00-12h45	3,36
	B	14h00-17h50	3,15
	C	9h00-12h45	3,08
3	A	9h05-11h23	1,86
	B	09h05-11h23	1,85
	C	09h05-11h23	1,94

2.4. Avaliação da exposição a VCI

Foi utilizado como método básico para avaliação da VCI o valor eficaz (r.m.s.) ponderado da aceleração como definido na Equação 1. A aceleração linear (de translação) tem como unidade o metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

Onde:

- $a_w(t)$ - aceleração ponderada em função do tempo em metro por segundo quadrado (m/s^2);
- T - é a duração da medição, em segundos (s).

O fator de crista (f_c) é definido como o módulo da relação do valor de pico máximo e o valor eficaz da aceleração, conforme a Equação 2.

$$f_c = \left| \frac{V_{p\text{máx}}}{a_w} \right| \quad (2)$$

A norma ISO 2631-5:2018 [7] considera os efeitos de cargas compressivas de múltiplos choques e formula dois regimes para medição destes choques. O regime de condição severa (onde o operador perde o contato com o assento ou há eventos de queda livre) ou o regime de condição menos severa (onde o indivíduo permanece sentado durante toda a exposição ou não há eventos de queda livre). Nas duas análises são calculados o fator de risco R^A que é baseado no cálculo da dose de compressão diária S_d^A . Utilizando o software de cálculo “Risk_Assessment_ISO.exe disponibilizado pela norma ISO 2631-5:2018 [7], pode-se medir a exposição representativa com o método descrito no Anexo A da norma e proceder com a análise orientadora, verificando se a exposição é severa ou menos severa. No caso deste trabalho os valores encontrados nessa análise determinaram que o método utilizado é o menos severo, conforme a Tabela 4.

A dose compressiva (S^A), medida em Mpa, é definida como a soma das forças de compressão de pico $C_{dyn,i}$, atuando na área de uma placa terminal vertebral B (mm^2), conforme a Equação 3.

$$S^A = \left[\sum_i \left(\frac{C_{dyn,i}}{B} \right)^6 \right]^{1/6} \quad (3)$$

Onde:

- $C_{dyn,i}$ - força compressiva de pico em Newton (N);
- B - área de uma placa terminal vertebral (mm^2).

As áreas da placa terminal vertebral já estão incorporadas no software com base em dados da literatura. Os valores médios de B são para o nível de disco T_{12}/L_1 - 1.460 mm^2 , L_1/L_2 - 1.520 mm^2 , L_2/L_3 - 1.580 mm^2 , L_3/L_4 - 1.590 mm^2 , L_4/L_5 - 1.600 mm^2 , L_5/S_1 - 1.550 mm^2 .

Para estimar os efeitos na saúde, é determinada a dose diária de compressão equivalente (S_d^A) da coluna lombar que considera j exposições durante um dia, conforme a Equação 4.

$$S_d^A = \left(\sum_j S_j^A \frac{t_{d,j}}{t_{m,j}} \right)^{1/6} \quad (4)$$

Onde:

- S_d^A - dose diária de compressão (Mpa);
- S_j^A - é o stress dinâmico de compressão da coluna lombar devido à exposição à vibração condição j;
- $t_{d,j}$ - é o período de tempo da exposição diária à vibração na condição j;
- $t_{m,j}$ - é o período de tempo em que S_j^A foi medido.

O fator de risco (R^A) para cada nível de disco pode ser definido para usar na avaliação de um efeito adverso à saúde relacionado com a dose diária de compressão (S_d^A). O R^A considera o ano em que a exposição começou e a duração da exposição em relação à idade da pessoa exposta. Para um padrão de exposição constante por dia em todos os anos, do início ao fim da exposição, o R^A é calculado conforme a Equação 5.

$$R^A = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{S_d^A N_i^{\frac{1}{6}}}{S_{u,i}^A - S_{stat,i}^A} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} \quad (5)$$

Onde:

- S_d^A - é a dose compressiva diária constante;
- i - é o contador do ano;
- N_i - é o número de dias de exposição por ano i;
- n - é o número de anos de exposição;
- $S_{u,i}^A$ - é a força máxima de uma vértebra lombar para uma pessoa de idade (b + i) anos, sendo b a idade em que a exposição começou;
- $S_{stat,i}^A$ - é o valor médio da força de compressão-descompressão dividido pela área de uma placa terminal de vértebra B (mm²) para o ano i.

$S_{u,i}^A$ varia com a densidade óssea das vértebras, que normalmente é reduzida com a idade. A partir de estudos in vitro, estabeleceu-se a relação entre $S_{u,i}^A$ (MPa) e (b + i) (em anos), e a proteção de 50% da população de motoristas que foi considerada na Equação 6.

$$S_{u,i}^A = 6.765\ 024(\text{Mpa}) - 0,067\ 184 (\text{Mpa}) (b + i) \quad (6)$$

3. Resultados e Discussão

Foram calculados os valores eficazes ponderados das acelerações em cada eixo (a_{wx} , a_{wy} , a_{wz}), para cada trajeto e condutor, tendo-se verificado que a maior aceleração eficaz ponderada se dá no eixo vertical z, apresentando-se os valores do fator de crista para o eixo z na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores das acelerações eficazes ponderadas (a_{wx} , a_{wy} , a_{wz})

Trajeto	Condutor	Aceleração com Ponderação (Critério da Saúde: $k_{x,y}=1,4$; $k_z=1$)			Valor de pico (m/s ²)	Fator de crista (Fc)
		a_{wx} (m/s ²)	a_{wy} (m/s ²)	a_{wz} (m/s ²)		
1	A	0,290	0,300	0,433	4,732	10,932
	B	0,314	0,288	0,425	5,433	13,396
	C	0,276	0,298	0,482	6,607	13,719
2	A	0,221	0,258	0,502	21,627	43,074
	B	0,337	0,302	0,438	5,957	13,589
	C	0,288	0,286	0,450	4,898	10,891
3	A	0,216	0,250	0,359	9,550	26,586
	B	0,247	0,251	0,383	5,559	14,533
	C	0,220	0,238	0,362	5,248	14,492

Na Tabela 4, são apresentados os valores do Fator de Risco R^A para análise orientadora, verificando-se que em todos os percursos os valores de R^A são baixos, definindo assim que a análise a ser utilizado neste estudo é o regime de condição menos severa.

Tabela 4 – Fator de Risco R^A – análise orientadora.

Percurso	n (anos)	m Kg	N dias	t_m (s)	Grupo	Exposure type	R^A max
1/A	45	111	240	14.400	3	orientating	0,22
1/B	45	84	240	14.400	3	orientating	0,21
1/C	45	90	240	14.400	3	orientating	0,26
2/A	45	111	240	14.400	3	orientating	0,37
2/B	45	84	240	14.400	3	orientating	0,26
2/C	45	90	240	14.400	3	orientating	0,25
3/A	45	111	240	14.400	3	orientating	0,19
3/B	45	84	240	14.400	3	orientating	0,21
3/C	45	90	240	14.400	3	orientating	0,19

Na Tabela 5, apresentam-se os resultados para o fator de risco R^A , para análise realizada com o número de anos de exposição (n) em 45 anos (tempo de reforma), número de dias de exposição (N) de 343 dias no ano e o tempo de exposição (t_m) de 6,67 h. Para além dessas especificidades foram inseridas as características físicas dos condutores (massa corporal e altura), bem como dados relativos à idade (data de nascimento), ano de início da atividade e tempo na atividade, utilizando os dados que constam da Tabela 1. Por fim foram inseridas no ficheiro de entrada de dados as bases de dados das acelerações temporais para o assento, correspondentes a cada percurso em questão.

Tabela 5 – Fator de risco máximo R^A por percurso.

Percurso	n anos	m Kg	h m	IMC	Year of Birth	First Year of Exposure	Last Year of Exposure	R^A max
1/A	45	111	1,78	35,0	1978	2002	2047	0,277
1/B	45	84	1,84	24,8	1979	2001	2046	0,157
1/C	45	90	1,80	27,8	1974	2001	2046	0,253
2/A	45	111	1,78	35,0	1978	2002	2047	0,437
2/B	45	111	1,84	24,8	1979	2001	2046	0,178
2/C	45	90	1,80	27,8	1974	2001	2046	0,243
3/A	45	111	1,78	35,0	1978	2002	2047	0,244
3/B	45	84	1,84	24,8	1979	2001	2046	0,144
3/C	45	90	1,80	27,8	1974	2001	2046	0,182

Tabela 6 – Classificação IMC

IMC	
Peso Baixo	< 18,5
Peso Normal	[18,5;25[
Excesso de peso	[25;30[
Obesidade	≥30

4. Conclusões

Para a avaliação dos efeitos na coluna lombar, é possível afirmar que os condutores monitorizados não apresentam probabilidade de sofrer danos na saúde, pois os valores obtidos para o fator de risco R^A máximo são todos inferiores a 0,8, valor que caracteriza um risco baixo. Verifica-se que o motorista que apresenta um risco superior em todos os cenários é o condutor A, facto esse devido ao peso e altura do motorista, dando origem ao maior valor de IMC, que é classificado como obesidade conforme a Tabela 6, sendo esse um fator que agrava o risco R^A . O condutor C apresenta-se em segundo lugar em todas as análises, já que apresenta o segundo maior IMC, que é classificado como de excesso de peso conforme a Tabela 6, mas também outro fator que justifica esse facto é que este condutor é o que possui idade mais elevada e ingressou nesta atividade mais tarde. O percurso 2/A foi o que apresentou o pior desempenho, apresentando o maior risco, mas sem apresentar probabilidade de causar danos à saúde. Uma melhoria na análise realizada nesse estudo seria realizar as medições de vibração utilizando as quatro interfaces homem-máquina definidas na norma ISO 2631-5:2018: aceleração medida na almofada do assento, na almofada do encosto, na superfície de contato com os pés e na superfície de contato com as mãos, melhorando o modelo para avaliação do posto de trabalho.

Referências

- [1] Balbinot, A., & Tamagna, A. (2002). Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 18(1), 31–38;
- [2] Barreira, S., Matos, M.L. Santos Baptista, J. (2015). Whole-Body Vibration in urban bus drivers - a short review. *Occupational Safety and Hygiene III*, 325-329;
- [3] Griffin, M. J. (1990). *Handbook of Human Vibration*. Londres: Elsevier Academic Press;
- [4] Lewis, C. A., & Johnson, P. (2012). Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers. *Occupational medicine*, 62(7), 519-524;
- [5] Miguel, A. S. S. R. (Ed.). (1998). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho (4ª ed.)*. Porto: Porto Editora;
- [6] Norma Portuguesa NP ISO 2631-1:2007. Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: requisitos gerais;
- [7] Norma NP ISO 2631-5.:2018 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Parte 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks;
- [8] Okunribido, O.O. et al., 2007. City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied Ergonomics*, 38(1), pp.29–38;
- [9] Paddan, G., & Griffin, M. (2002). Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 215-241;
- [10] Rehn, B., Lundström, R., Nilsson, L., Liljelind, I., & Järvholm, B. (2005). Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles—aspects on measurement strategies and prevention. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(9), 831-842;
- [11] Ruiz, R. M., & Muñoz, B. L. (2015). Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Em A. S. Miguel, & P. Arezes, *Vibrações de corpo inteiro: estudo dos níveis de exposição de manobras profissionais de veículos (Vol. 2)*. Lisboa: ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho;
- [12] Thamsuwan, O., Blood, R. P., Ching, R. P., Boyle, L., & Johnson, P. W. (2013). Whole-body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a lowfloor city bus. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9-17;
- [13] Tiemessen, I. J., Hulshof, C. T., & Frings-Dresen, M. H. (2007). An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(3), 245-256.