

Whole-Body Vibration in Drilling, Loading and Transport Operations in Quarry

Vibrações de Corpo Inteiro em operações de perfuração, carga e transporte em Pedreira

C. Bernardo, M. L. Matos¹, J. S. Baptista

Research Laboratory on Prevention of Occupational and Environmental Risks (LABIOMEPEP / CIGAR), Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, Portugal

¹*LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, S. Mamede de Infesta, Portugal*

Abstract

The mining work is done with exposure to multiple risks related to the production process, being vibration one of those risks. The aim of this study is to contribute to the study of occupational exposure to whole-body vibrations (WBV) in open pit mining, evaluating and comparing different workplaces/equipments. The experimental work was conducted in 2013 in a north Portugal open pit mine. Three equipments were studied: rock drill, shovel and dumper. WBV measurement and analysis was conducted in accordance with ISO 2631-1 (1997). It was used a device SVANTEK (Poland), SV 106, enabling the measurement of vibration in three axes (longitudinal *xx*, lateral *yy* and vertical *zz*). It was studied three WBV transmission ways: seat surface, seat backrest and cabin floor (feet). The monitoring of the WBV was taken at each workplace with measuring times between 2 and 3 hours. Data were processed and it was determined the dominant axis, the worker exposure - RMS, A(8) and the maximum peak. The daily exposure to WBV in rock drill and shovel is below the legislated action value ($0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). The worker in these workplaces is protected from physical risk of WBV. In dumper, the daily exposure to WBV in this workplace is above the legislated action value. Thus, it is proposed to maintain the quarry roads more regularly. Big differences were found when the WBV is transmitted through the three-way transmission of WBV.

Keywords: Whole-Body Vibration, Open Pit Mining; Rock drill; Shovel; Dumper.

1. INTRODUÇÃO

A atividade profissional na indústria extrativa envolve uma exposição a múltiplos riscos, inerentes ao processo produtivo: riscos físicos (ruído, vibrações, ambiente térmico), químicos (poeiras), riscos ergonómicos (posturas adotadas, manuseamento de cargas) e psicossociais (Donoghue 2004). É, por isso, alvo de estudo em todo o mundo, com o intuito de eliminar/reduzir o número de ocorrências de acidentes de trabalho e o aparecimento de doenças profissionais (Matos and Ramos 2010).

Em particular na indústria extrativa a céu aberto, o processo produtivo inclui operações fundamentais como a perfuração, a carga e o transporte. Estas estão dependentes de equipamentos (carros de perfuração, pás e *dumpers*, respetivamente) que, pela vibração gerada, deixam os trabalhadores em risco (Aye and Heyns 2011; Leduc, Eger *et al.* 2011; Kunimatsu and Pathak 2012). A vibração nestes equipamentos é sobretudo “de corpo inteiro” (VCI). O efeito da exposição a VCI mais frequentemente reportado na bibliografia é a “dor nas costas”. Esta relação é estabelecida em diversos estudos epidemiológicos. Outros distúrbios são a dor ciática, lombalgia e dor generalizada nas costas, hérnias discais, degeneração da coluna (Teschke, Nicol *et al.* 1999; Lings and Leboeuf-Yde 2000; Gallais and Griffin 2006; Gallagher and Mayton 2007; Eger, Stevenson *et al.* 2011).

Este artigo pretende ser um contributo no estudo da exposição ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro (VCI), tendo como objetivo principal avaliar e comparar a exposição a VCI em três postos de trabalho de uma pedreira a céu aberto (carro de perfuração, pá carregadora giratória e *dumper*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi realizado entre abril e junho de 2013 numa pedreira a céu aberto do norte de Portugal, dedicada à produção de agregados britados. Atendendo aos objetivos definidos, foram selecionados para o estudo três postos de trabalho: carro de perfuração ($n=1$), pá carregadora giratória ($n=1$) e *dumper* ($n=1$). A cada posto de trabalho está associado um trabalhador. As características dos equipamentos associados aos postos de trabalho são apresentadas na Tabela 1. As operações dentro da pedreira decorreram sob um piso de terra batida, irregular que foi molhado com água regularmente em períodos mais secos. A medição das vibrações seguiu os critérios estabelecidos na NP ISO 2631-1:2007 (versão portuguesa da ISO 2631-1:1997) e no Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro. A exposição a VCI foi comparada com os valores limite de exposição e valores de ação de exposição a vibrações transmitidas ao corpo inteiro estabelecidos neste diploma legal, $1,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ e $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, respetivamente.

Tabela 1 – Características dos equipamentos em estudo.

	Carro de perfuração	Pá carregadora giratória	Dumper
Marca	ATLAS COPCO	CATERPILLAR	TEREX
Modelo	Roc D7	374 D	TR 45
Ano de fabrico	2007	2011	2005

Foi utilizado um equipamento de medição e análise de vibração da marca SVANTEK (Polónia), modelo SV 106, possibilitando a medição da vibração nos três eixos (longitudinal *xx*, lateral *yy*, vertical *zz*). Este equipamento foi objeto de calibração por parte do ISQ, Instituto de Soldadura e Qualidade (Portugal), com Certificado de Calibração CACV1223/12 de 21/11/12. A passagem dos dados foi feita com recurso ao *software* SVAN PC ++, versão 1.5.10 da SVANTEK (Polónia). Estes foram posteriormente tratados em *MS Excel*. Foi determinado o eixo predominante, o pico máximo e calculado o RMS e o A(8). Os acelerómetros foram colocados na superfície do assento, no encosto do assento e na base da cabine de cada veículo. Com isto foram estudadas três diferentes vias de transmissão de VCI: (1) assento, (2) costas e (3) pés. Foi feita uma monitorização no decorrer do trabalho normal da pedreira, com tempos de monitorização entre 2 e 3 horas, em dias distintos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2, 3 e 4 apresenta-se a caracterização face à exposição a VCI no carro de perfuração, pá carregadora giratória e *dumper*, respetivamente.

Tabela 2 – Exposição a VCI no carro de perfuração.

	Assento	Costas	Pés
Eixo predominante	Vertical, <i>zz</i>	Longitudinal, <i>xx</i>	Vertical, <i>zz</i>
Pico máximo [$m\cdot s^{-2}$]	17,78 (<i>zz</i>)	13,80 (<i>xx</i>)	2,82 (<i>zz</i>)
RMS [$m\cdot s^{-2}$]	min:0,00; med:0,06; máx:4,12	min:0,00; med:0,18; máx:4,57	min:0,00; med:0,06; máx:0,79
A(8) [$m\cdot s^{-2}$]	0,09	0,13	0,08

No carro de perfuração quando a via de transmissão é feita pelo assento ou pelos pés, o eixo predominante é o *zz*. Tal deve-se sobretudo à operação de perfuração que ocupa a maior parte do tempo do ciclo de trabalho. Nesta operação o veículo permanece imóvel, sendo a perfuração semi-vertical, transmitindo a vibração no eixo dos *zz*. Quando a via de transmissão é feita pelas costas o eixo predominante é o *xx*. O pico máximo foi sentido no eixo *zz*, com via de transmissão pelo assento. Contudo, o trabalhador está salvaguardado face ao risco físico das VCI neste posto de trabalho, visto que a exposição diária A(8) apresenta um valor de $0,09 m\cdot s^{-2}$, bastante abaixo do valor de ação legislado ($0,5 m\cdot s^{-2}$). Avaliando a sensação de conforto para o trabalhador, segundo a ISO 2631-1:1997, o posto de trabalho não é desconfortável.

Tabela 3 - Exposição a VCI na pá carregadora giratória.

	Assento	Costas	Pés
Eixo predominante	Longitudinal, <i>xx</i>	Longitudinal, <i>xx</i>	Vertical, <i>zz</i>
Pico máximo [$m\cdot s^{-2}$]	16,79 (<i>zz</i>)	37,15 (<i>xx</i>)	20,42 (<i>zz</i>)
RMS [$m\cdot s^{-2}$]	min:0,00; med:0,37; máx:4,42	min:0,00; med:0,49; máx:7,33	min:0,00; med:0,55; máx:4,62
A(8) [$m\cdot s^{-2}$]	0,41	0,48	0,57

Na pá carregadora giratória, a vibração transmitida pelo assento, é maioritariamente sentida nos eixos *xx* e *yy*. As operações de carga e arrumação do material desmontado (tarefas do ciclo de trabalho deste equipamento) são instáveis, acidentadas e sem um padrão definido. Ambas as operações estão muito dependentes da forma como o material desmontado está selecionada/arrumada e da tipologia do desmonte que a pá carregadora giratória faz. A vibração sentida no eixo longitudinal *xx* e no lateral *yy*, simultaneamente, pode tornar a cabeça e a coluna vertebral instáveis, causando não só o desconforto do trabalhador mas também tornando a coluna vertebral mais vulnerável (Kumar 2004). Os pés são a via de transmissão com valores mais elevados de exposição a VCI, das três vias de transmissão em análise. Isto deve-se sobretudo à colocação da máquina (pá carregadora giratória) em cima do material já desmontado para ser carregado que é pouco consistente e instável. Além disso, a cabine giratória está continuamente em movimento e todos os movimentos do braço e do balde da pá induzem movimento e, consequentemente, vibração na estrutura principal da máquina. No geral, o posto de trabalho pode ser classificado de ‘ligeiramente desconfortável’ a ‘razoavelmente desconfortável’, segundo a ISO 2631-1:1997. O valor da exposição diária às vibrações, A(8), é de $0,41 m\cdot s^{-2}$, estando abaixo do valor de ação.

Tabela 4 - Exposição a VCI no *dumper*.

	Assento	Costas	Pés
Eixo predominante	Vertical, <i>zz</i>	Longitudinal, <i>xx</i>	Vertical, <i>zz</i>
Pico máximo [$m\cdot s^{-2}$]	3,09 (<i>zz</i>)	4,07 (<i>xx</i>)	1,74 (<i>zz</i>)
RMS [$m\cdot s^{-2}$]	min:0,01; med:0,59; máx:3,51	min:0,01; med:0,23; máx:4,07	min:0,01; med:0,22; máx:1,74
A(8) [$m\cdot s^{-2}$]	0,60	0,36	0,36

A exposição diária A(8) a VCI no *dumper*, é de $0,60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, ultrapassando o nível de ação ($0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). O trabalhador está sujeito a esforços verticais, com ciclos de compressão/expansão dos discos intervertebrais. Numa exposição de longa duração, estes esforços podem aumentar a suscetibilidade da coluna, acelerando a sua degeneração ou o aparecimento de doenças (Seidel and Heide 1986; Dupuis 1994; Wikström, Kjellberg *et al.* 1994; Kumar 2004).

O *dumper* excede o valor de ação de exposição, o que sugere que sejam tomadas medidas preventivas adequadas, como uma regular manutenção das vias de comunicação dentro da pedreira. Uma atenção redobrada em dias chuvosos seria recomendável, uma vez que causam mais dano no pavimento. Parte disto é feito pela empresa em estudo, no entanto não com a regularidade e exigência necessária. Nunca será demais o incentivo à formação dos trabalhadores no âmbito da higiene e segurança do trabalho, salientando hábitos de trabalho que minimizem a sua exposição a VCI.

Segundo a ISO 2631-1:1997, numa perspetiva de perceção do conforto do posto de trabalho, o *dumper* é ‘ligeiramente desconfortável’.

É aqui evidenciado que a via de transmissão feita pelas costas expõem o trabalhador a amplitudes de vibrações significativas, por vezes superiores às transmitidas pelo assento e pés. Contudo, há que ter em atenção alguns aspetos sobre esta via de transmissão. Em primeiro lugar, não está comprovada a interferência da vibração transmitida pelas costas, na posição sentada, na saúde dos trabalhadores (ISO 1997). A vibração transmitida pelas costas é tida em conta apenas na sensação de conforto do trabalhador acerca daquele posto de trabalho. Nesta linha de pensamento, também a legislação não prevê limites legais para a vibração transmitida a um corpo sentado pelas costas. De facto, não é possível garantir que toda a energia recebida com entrada pelas costas do assento entre de facto no corpo humano. O trabalhador não tem sempre as costas apoiadas no encosto do assento (ao contrário da superfície do assento onde se senta). Além disso, movimentos involuntários podem induzir impactos no acelerómetro.

Quando a vibração tem como via de transmissão os pés e o corpo está sentado, a situação é semelhante. Não há fundamentação dos efeitos adversos na saúde pela transmissão de vibrações pelos pés, não havendo também um limite legal da exposição a este tipo de vibrações. Não é garantido que a energia recebida pela base da cabine entre no corpo do trabalhador. Acresce ainda que o peso do corpo sentado não está apoiado nas pernas e pés do trabalhador, mas sim na superfície do assento. O efeito da vibração é portanto, tendencialmente, menor.

Mesmo perante estas evidências, não é conveniente limitar a medição da vibração à via de transmissão pela superfície do assento. O desenvolvimento de estudos e a constante caracterização das vias de transmissão da vibração pelas costas e pelos pés podem abrir portas a novos desenvolvimentos sobre os seus efeitos na saúde humana.

O mesmo se aplica relativamente ao valor do pico máximo. Este parâmetro não está legislado para o risco físico das VCI. Todavia, uma abordagem holística aconselha a sua inserção, uma vez que pode interferir com a saúde do trabalhador, ou afetar o conforto do posto de trabalho. O valor da exposição diária a vibrações, devido à sua variável temporal, dilui os picos sentidos, podendo passar despercebido o seu real efeito. O estudo deste parâmetro pode levar a desenvolvimentos que permitam, por exemplo, a revisão da legislação, levando-a a incluir limites para este parâmetro.

4. CONCLUSÕES

Os locais de trabalho carro de perfuração e pá carregadora giratória não estão em incumprimento face à regulamentação que limita a exposição ao risco físico das vibrações em ambiente ocupacional. No *dumper* tal não se verifica, estando o posto de trabalho acima do valor de ação, o que exige a tomada de medidas de minimização. Sugere-se a manutenção mais regular e eficaz do piso onde se desenvolvem as operações.

Foram encontradas diferenças nas três vias de transmissão da VCI.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais (MESHO) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), todo o apoio no desenvolvimento e divulgação do trabalho desenvolvido.

6. REFERÊNCIAS

- Aye, S. and P. S. Heyns (2011). The evaluation of whole-body vibration in a South African opencast mine. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 111(11): 751-758.
- Donoghue, A. (2004). Occupational health hazards in mining: an overview. *Occupational Medicine* 54(5): 283-289.
- Eger, T., J. M. Stevenson, *et al.* (2011). Influence of vehicle size, haulage capacity and ride control on vibration exposure and predicted health risks for LHD vehicle operators. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control* 30(1): 45-62.
- Gallagher, S. and A. Mayton (2007). Back injury control measures for manual lifting and seat design. *Mining Engineering* 59(12): 41-49.
- Gallais, L. and M. J. Griffin (2006). Low back pain in car drivers: A review of studies published 1975 to 2005. *Journal of sound and vibration* 298(3): 499-513.
- Kunimatsu, S. and K. Pathak (2012). Vibration-Related Disorders Induced by Mining Operations and Standardization of Assessment Process. *MAPAN* 27(4): 241-249.
- Leduc, M., T. Eger, *et al.* (2011). Examination of vibration characteristics, and reported musculoskeletal discomfort for workers exposed to vibration via the feet. *J. of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control* 30(3): 197-206.
- Lings, S. and C. Leboeuf-Yde (2000). Whole-body vibration and low back pain: A systematic, critical review of the epidemiological literature 1992–1999. *Int. archives of occupational and environmental health* 73(5): 290-297.

Matos, M. L. and F. Ramos (2010). Indústria extrativa: análise de riscos ocupacionais e doenças profissionais. *SHO - Colóquio Internacional sobre Segurança e Higiene Ocupacionais*, 10 e 11 de Fevereiro de 2010, Guimarães.

Teschke, K., A.-M. Nicol, *et al.* (1999). Whole Body Vibration and Back Disorders Among Motor Vehicle Drivers and Heavy Equipment Operators A Review of the Scientific Evidence. *Occupational Hygiene* 6: 1Z3.