

## EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO. ANÁLISE SEGUNDO A ISO 2631-5:2018.

Kemislani Lima<sup>1</sup>, Maria Luisa Matos<sup>1,2</sup>, Marcelo Soares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), [kemislani@gmail.com](mailto:kemislani@gmail.com) ; [marcelodepsb@gmail.com](mailto:marcelodepsb@gmail.com) }

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), [mlmatos@fe.up.pt](mailto:mlmatos@fe.up.pt) }

### Resumo

Segundo a [1], 20% dos trabalhadores em Portugal encontram-se expostos a vibrações mecânicas sendo os principais setores de exposição a construção civil, agricultura e a indústria extrativa. Os trabalhadores da Indústria Extrativa estão expostos a muitos riscos físicos, onde as vibrações ocupacionais ocorrem através da utilização de equipamentos pesados. Foram estudados três postos de trabalho distintos, condutores do Carro de Perfuração, *Dumper* e Pá giratória e a metodologia de tratamento dos dados seguiu as recomendações da ISO 2631-5:2018. Como resultado obtido no *Dumper* o risco de lesão na coluna tem um valor de 1,07 e uma probabilidade de dano à coluna de 26,9%; O Carro de Perfuração apresenta um risco de lesão na coluna de 0,61 e uma probabilidade de dano á coluna de 6,10%; A Pá Giratória, apresenta um risco de lesão na coluna de 2,11 e uma probabilidade de dano à coluna de 88,10%. Como conclusão verifica-se que o posto de trabalho que apresenta maior risco de lesão para o manobrador é a Pá giratória.

Palavras-chave: Vibração ocupacional, frequência de vibração, saúde ocupacional, vibração corpo inteiro.

### Abstract

According to [1], 20% of workers in Portugal are exposed to mechanical vibrations and the main sectors of exposure are civil construction, agriculture and the extractive industry. Extractive Industry workers are exposed to many physical risks, where occupational vibrations occur through the use of equipment such as drilling cars, *Dumper* and rotating shovel. Three different jobs were studied, and the methodology followed the recommendations of ISO 2631-5: 2018. As a result, the risk of spinal injury is 1.07 in the *Dumper* and the probability of damage to the spine is 26.9%; The Drill Car presents a risk of spinal injury of 0.61 and a probability of damage to the spine of 6.10%; The rotating blade has a risk of spinal injury of 2.11 and a probability of damage to the spine of 88.10%. As a conclusion, the workstation that presents the greatest risk of injury to the maneuverer is the rotating shovel.

Keywords: Occupational vibration, vibration frequency, occupational health, whole body vibration.

**PACS no. 43.40,43.40.Ng**

## 1. Introdução

Segundo o Gabinete de Estatísticas da União Europeia, 60% dos estabelecimentos registados estão submetidos a exposição de ruído e vibração na EU no ano de 2007 com um crescente aumento. Os principais setores que mais apresentam tais exposições são: Agricultura, Indústria Extrativa (mineração), construção civil e indústria de manufatura. Na UE, 8,6% das pessoas que trabalham, relataram problemas de saúde relacionado ao trabalho nos últimos anos, o que corresponde a aproximadamente 23 milhões de pessoas [2].

Em Portugal, de acordo com o Gabinete de Estratégia e Planeamento [3], o número de trabalhadores que sofreram acidentes de trabalho na Indústria Extrativa no ano de 2016 chegou a 869 trabalhadores. Desse total, 711 trabalhadores foram afastados devido à exposição a vibrações e ruídos, tendo por natureza o local da lesão, a cabeça.

As respostas fisiológicas e psicológicas do corpo do trabalhador dependem de fatores intrínsecos e de fatores extrínsecos. Nos fatores extrínsecos estão incluídos: os tipos de veículos (Empilhadores, *Dumpers*, Pá escavadora, máquinas florestais, forwarders, guindastes móveis, camiões, tratores, Carro de Perfuração, entre outros), as características do veículo (condição da via, sistemas de suspensão, tipo de assento, carga e manutenção do veículo) e os fatores físicos e/ou ocupacionais (experiência de condução, velocidade de condução, massa corporal e postura) [4] [5].

No plano da vibração do corpo inteiro (VCI), existem quatro fatores físicos que são capazes de afetar a resposta humana à vibração: a frequência, a direção, a intensidade e a duração; quando um ou mais destes fatores se encontra acima do nível desejado, geram problemas de saúde ao trabalhador exposto [6] [7] [8].

A exposição a vibrações mecânicas em atividades de extração, representa na atualidade um dos mais importantes fatores de risco a que os manobreadores de máquinas pesadas - como *Dumpers*, Pás carregadoras, Carros de Perfuração e Pás giratórias, que são comumente utilizadas na construção civil, no trabalho florestal e em pedreiras, estão submetidos. Em função disso, este estudo procura quantificar os níveis de exposição dos manobreadores às vibrações mecânicas de corpo inteiro, de acordo com a ISO 2631-5:2018 (na quantificação da vibração contendo vários choques em relação à saúde humana na postura sentada).

## 2. Fundamentação

### 2.1 Apresentação da entidade

A empresa onde ocorreram as medições, é uma empresa portuguesa situada no norte de Portugal dedicada à exploração de pedreiras e produção de agregados britados. Com mais de 35 anos de experiência, possuía à data da recolha dos dados cerca de 180 colaboradores.

A atividade económica da Indústria Extrativa é compreendida por processos de “extração, dragagem, lavagem e beneficiação de areias especiais para a Indústria transformadora e areias comuns para a construção; extração e britagem de pedras para agregados utilizados na construção; moagem de pedras para obtenção de pós no local da extração” [9].

O início do processo produtivo ocorre com a extração da massa mineral. Logo após o desmonte, onde são agrupados e armazenados os blocos por classes de peso, o restante material é encaminhado para as unidades de transformação automatizadas, onde são sujeitos a diversos estágios de fragmentação e classificação dos blocos. As diferentes granulometrias são armazenadas em silos de grande capacidade que possuem um sistema automatizado que operacionaliza a fase de expedição, fazendo cargas individuais, homogeneização de misturas predefinidas e lavagem dos agregados [10].

## 2.2 Enquadramento normativo

ISO 2631-5:2018, Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. “Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks”.

## 2.3. Referencial teórico

Os valores de frequências devem ter frequências de cortes de 0,01Hz a 80Hz. Para a análise proposta, serão utilizados valores de frequências de 0,4Hz a 80Hz, pois foram os valores coletados pelo equipamento no momento da medição. Para determinação do risco a que os manobreadores estão exposto, será utilizado o Anexo C da norma (ISO 2631-5:2018, 2018), pois, os valores encontrados de pico são superiores a  $9,81\text{m/s}^2$ , apresentando condições severas em relação à exposição.

O autor [11] relata ao desenvolver o seu trabalho, que quando os valores do fator R, que representa a associação ao risco de lesão da coluna lombar por carga axial, são menores que 0,8, eles mostram “baixa possibilidade de efeitos indesejáveis à saúde” na área da coluna vertebral lombar e quando os valores do fator R excedem 1,2, geralmente indicam a “maior possibilidade efeitos indesejáveis à saúde”. Além disso, quando os valores de  $S_u$ , que está relacionado com a força máxima exercida pela coluna lombar, são menores que 0,5 Mpa, eles mostram a “possibilidade de menores efeitos indesejáveis à saúde” na área da coluna vertebral lombar e, quando esses valores são maiores que 0,8, mostram “possibilidade de maiores efeitos indesejáveis à saúde”. Ao calcular o fator R, é necessária a idade atual do utilizador, a idade em que ocorreu a sua primeira exposição à vibração, as horas diárias de exposição e o número total de anos de exposição.

Segundo a Norma [11], a força que as vértebras exercem, normalmente, é reduzida com a idade, de forma que para o primeiro ano de exposição do trabalhador a força que a vértebra exerce é maior e decresce a cada ano de exposição. Para os postos de trabalho analisados, os valores de  $S_u$  também foram decrescendo com os anos de exposição dos motoristas.

O parâmetro R, representa uma variável de stress que é utilizado para avaliação dos efeitos adversos a saúde que estão relacionados com as doses de aceleração da resposta humana. Essa variável é calculada tendo em consideração o aumento da idade do motorista e a força de redução da vértebra à medida que o tempo de exposição avança. A probabilidade de dano à coluna lombar ( $\pi$ ), é calculada a partir da variável R, em combinação com os coeficientes de género ( $\alpha$  e  $\beta$ ), que possui uma variação entre 0 (risco de lesão de 0%) a 1 (risco de lesão de 100%) [11].

Sustenta o autor [12], que os distúrbios da coluna vertebral entre os trabalhadores expostos à VCI são cada vez mais comuns, quanto mais longa e intensiva a exposição, mas os limites definitivos de limiar ou uma relação linear dose-resposta não foram estabelecidos por várias razões. Avalia ainda que certas condições de trabalho ergonômicas são cofatores importantes numa avaliação de risco de exposição a vibrações e choques. Além disso, a postura corporal desajeitada e a VCI provavelmente têm efeitos modificadores ou sinérgicos no desenvolvimento patológico da doença articular degenerativa acelerada e do stress musculoesquelético [12].

Outro aspecto levantado pelo autor é que, há uma escassez de trabalhos que estudam a exposição simultânea à VCI e a postura muitas vezes constrangedora entre os operadores de equipamentos pesados e móveis. Estudos-piloto mostraram que algumas operações de veículos podem levar a 'stressores' combinados da VCI e posturas inadequadas, como as posturas de assento diferentes e inclinação do encosto que tendem a influenciar o desconforto da vibração.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Amostragem

A condução/operação dos veículos envolve um conjunto de tarefas a serem realizadas pelos condutores que se repetem ao longo do dia, criando uma rotina de trabalho que caracteriza o seu Posto de Trabalho.

Para essa amostragem, foram realizadas amostragens nos seguintes Postos de trabalho:

- *Dumper*: foram feitas medições ao longo de 3 ciclos de trabalho.
- Carro de Perfuração: foram feitas medições ao longo de 2 ciclos de trabalho Log 21 e Log 24.
- Pá Giratória: foram feitas medições ao longo de 4 ciclos de trabalho.

#### 3.2 Caracterização dos condutores

A caracterização dos condutores que foram utilizadas na amostragem, encontra-se descrita na Tabela 1, contendo a idade, peso, altura, idade de início de exposição na atividade avaliada, o tempo de serviço na empresa e o tempo total a que está exposto a esse agente físico.

Tabela 1 - Caracterização dos condutores.

Motoristas	Idade	Peso	Altura	Idade do início da exposição	Tempo de serviço na empresa	Tempo total de exposição
<i>Dumper</i>	40	68	1,74	19	21	21
Carro de Perfuração	43	66	1,72	28	6	15
Pá Giratória	52	88	1,85	19	12	33

#### 3.3 Análise da exposição à VCI

Os métodos de avaliação descritos na norma ISO 2631-5:2018 são baseados em dois métodos distintos: um regime severo, que está relacionado com a exposição que contém queda livre ou picos de acelerações superiores a  $9,81\text{m/s}^2$  e um regime menos severo, que está relacionado com o condutor permanecer sentado durante toda a exposição ou apresenta valores de picos menores que  $9,81\text{ m/s}^2$ .

Na avaliação aqui tratada, foram consideradas condições severas, uma vez que os valores de pico para os postos de trabalho ultrapassam o valor de  $9,81\text{m/s}^2$ . Essas condições são aplicáveis aos Anexos C e D da norma ISO 2631-5:2018. O tratamento dos resultados inicia-se através do cálculo da dose de resposta espinhal calculada através da dose de aceleração ( $D_z$ ) Fórmula (1) e do cálculo da dose em dois ou mais períodos de medição ( $D_{zd}$ ) Fórmula (2).

$$D_z = 1,07 \left( \sum_i A_{zi}^6 \right)^{\frac{1}{6}} \quad (1)$$

$$D_{zd} = \left( \sum_i D_{zi}^6 \frac{t_{d,j}}{t_{m,j}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (2)$$

O cálculo para avaliação dos efeitos na saúde do trabalhar está contido no Anexo C, e relata que: após o cálculo do  $D_{zd}$ , deve-se calcular a dose diária de compressão ( $S_d$ ), multiplicando o  $D_{zd}$  pela massa corporal ( $m_z$ ). A massa corporal por sua vez, calculada multiplicando a massa peso pela área da placa do motorista. Ou, multiplicar o peso por 49% que representa o percentual de massa corporal para população masculina jovem.

O parâmetro R, representa uma variável de stress que é utilizado para avaliação dos efeitos adversos a saúde que estão relacionados com as doses de aceleração da resposta humana. Essa variável é calculada tendo em consideração o aumento da idade do motorista e a força de redução da vértebra à medida que o tempo de exposição avança. A probabilidade de dano à coluna lombar ( $\pi$ ), é calculada a partir da variável R, em combinação com os coeficientes de género ( $\alpha$  e  $\beta$ ) apresentados na Figura 1, que possui uma variação entre 0 (risco de lesão de 0%) e 1 (risco de lesão de 100%). Para calcular R, tem que se relacionar o aumento da idade à medida que o tempo de exposição aumenta como mostrado na Fórmula (3), (4) e (5).

	$\alpha$	$\beta$
Male	1,613 (1,460; 1,809)	2,799 (2,168; 3,511)
Female <sup>a</sup>	0,959 (0,854; 1,093)	3,709 (2,509; 5,207)
<sup>a</sup> Values for female subjects are based on a smaller data set.		

Figura 1 - Coeficiente de género.

$$S_u = 6,75MPa - Sage(b + i) \quad (3)$$

$$R = \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \left( \frac{S_{d,i} N_i^{\frac{1}{6}}}{S_{u,i} - S_{stat,i}} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

$$\pi = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{R}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (5)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cálculo da resposta espinhal que compreendem os valores de Dose de aceleração e Dose diárias aceleração ( $D_z$  e  $D_{zd}$ , respetivamente), foi necessário estabelecer as características dos picos de acelerações positivos sem ponderação e o somatório dos maiores picos observados ao longo da medição, encontrando-se destacados no Gráfico 1, o somatório dos maiores valores de pico. Para além disso, os tempos de exposição diária ( $t_d$ ) e o tempo de medição ( $t_m$ ) também foram contabilizados tendo como uso recomendado o de 8 horas para o parâmetro  $t_d$ . Esses valores, podem expressar que os choques múltiplos na coluna, contribuem para os processos de perturbações ao longo da coluna vertebral, e os seus efeitos estão diretamente relacionados com os picos de aceleração. Quanto maior o somatório dos picos, maior será o efeito dessa compressão na coluna vertebral.

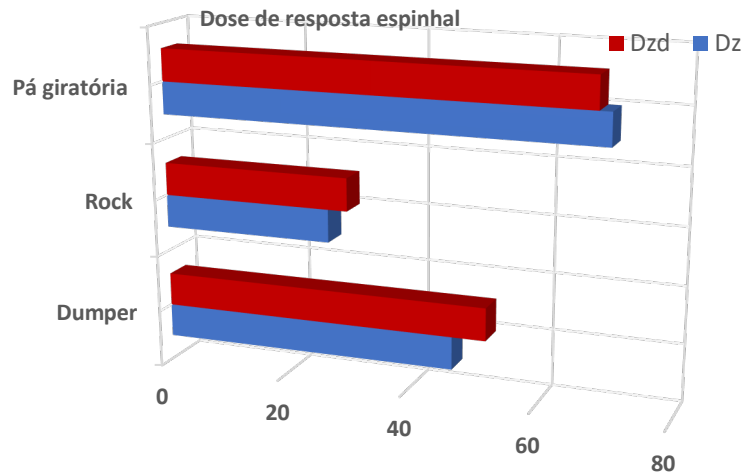


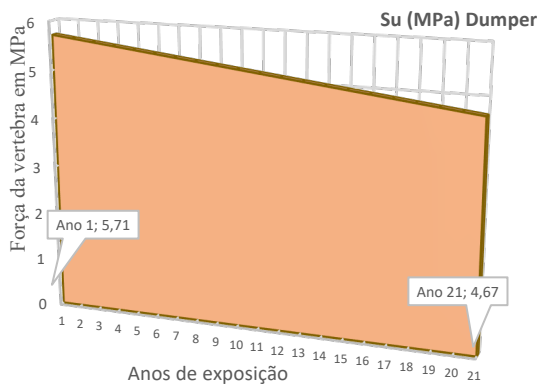
Gráfico 1. Dose de resposta espinhal.

Na determinação da variável  $D_{zd}$  foram utilizados os somatórios de todos os picos, com valores respectivos de 43,60 ( $m/s^2$ ) para o *Dumper*, 25,36  $m/s^2$  para o Carro de Perfuração e de 65,72  $m/s^2$  para a Pá Giratória, segundo o descrito na Tabela 2.

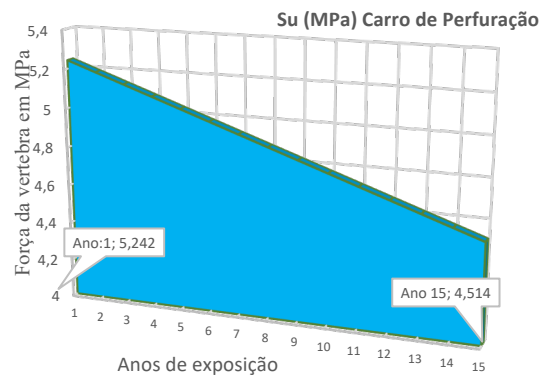
Tabela 2 - Variáveis.

	N (dias)	n (ano)	b (ano)	i (ano)	Epicos ( $m/s^2$ )	mz	Sstat	Sd (MPa)	Dz ( $m/s^2$ )	Dzd ( $m/s^2$ )	R	$\pi$
<i>Dumper</i>	343	21	19	21	43,78	0,024	0,233	1,24	46,65	51,92	1,07	26,9%
Carro de Perfuração	343	15	28	15	25,39	0,023	0,226	0,70	27,14	30,23	0,61	6,1%
Pá Giratória	343	31	19	12	65,72	0,031	0,302	2,11	70,32	68,37	2,11	88,1%

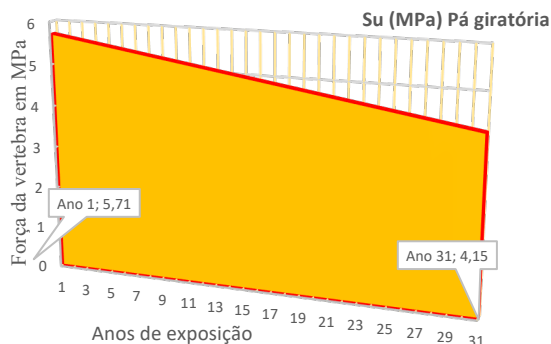
O valor de  $S_u$ , que representa a força máxima da coluna lombar, no trabalhador do *Dumper* iniciou com valores de 5,710MPa e ao longo dos anos diminuiu até o ano de exposição analisado para 4,72MPa, assumindo uma redução de 18,2% ao longo de 21 anos. Em relação ao Carro de Perfuração, iniciou-se com valores de 5,24Mpa diminuindo para 4,51Mpa, assumindo uma redução de 13,9% ao longo de 15 anos. Na Pá Giratória, os valores iniciais de exposição são de 5,71Mpa diminuindo para 4,15Mpa, assumindo uma redução de 27,0% ao longo de 31 anos, conforme Gráfico 2 - a, b e c.



a. Dumper.



b. Carro de Perfuração.



c. Pá giratória.

Gráfico 2 - Força máxima da coluna lombar, a. *Dumper*; b. Carro de Perfuração; c. Pá giratória.

Nos valores que compreendem o risco de lesão na coluna lombar (R), temos para os valores de R, na Pá Giratória valores de 2,11, a atividade desenvolvida pelo manobrador do *Dumper* apresenta R de 1,07 e o valor do R no Carro de Perfuração é igual a 0,61. Os percentuais de risco foram confrontados com o que é referenciado na Tabela C.2 do Anexo C da norma, que apresenta valores entre 10%, 50% e 90% de risco. Os valores foram interpolados, a fim de, obterem valores próximos do percentual real, esses valores podem ser observados no Gráfico 3.

Em relação a variável probabilidade de dano à coluna lombar ( $\pi$ ) no desempenho das suas atividades laborais, os riscos variam de 26,68% para o *Dumper*, 6,11% para o Carro de Perfuração e 88,10% para a Pá giratória.

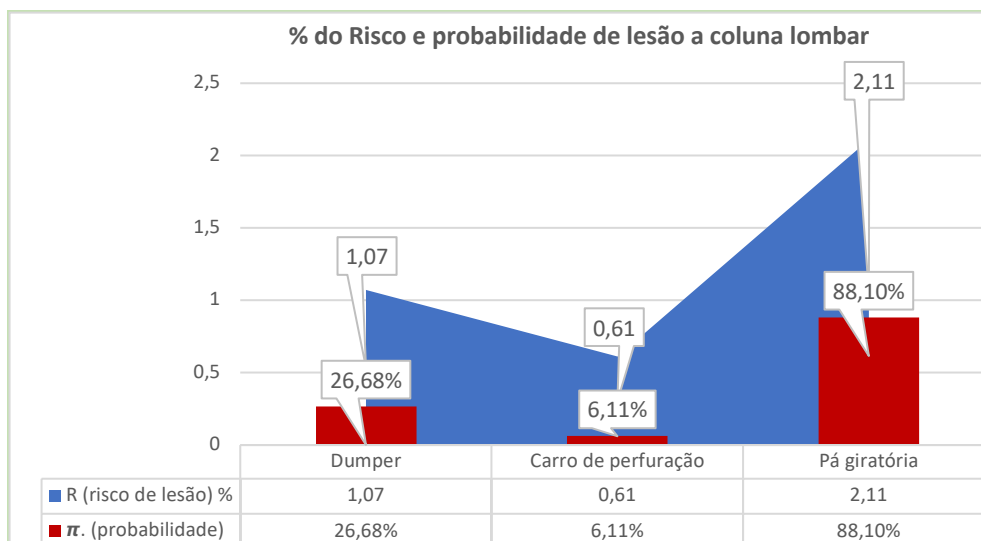


Gráfico 3 - % do Risco e probabilidade de lesão a coluna lombar.

As correlações entre as variáveis da norma estão dispostas no Gráfico 4. Observa-se que quanto maior forem os valores de dose de vibração resultante dos picos máximos, maiores poderão ser os riscos de lesão, aumentando a probabilidade de dano à coluna lombar.

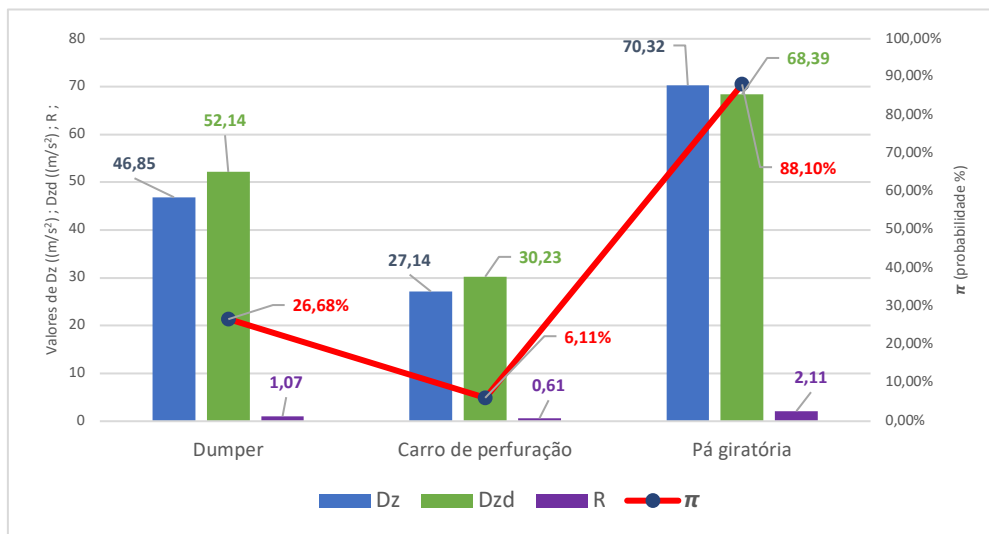


Gráfico 4 - Inter-relação entre as variáveis.

#### 4. CONCLUSÃO

Em relação ao Risco de lesão (R), que representa a variável do stress, temos:

- No *Dumper*: o valor encontrado para R é de 1,02, o que representa uma probabilidade média de risco para a saúde do trabalhador em relação a lesões na coluna vertebral;
- No Carro de Perfuração: o valor encontrado para R é de 0,61, o que representa uma probabilidade baixa de dano à saúde do trabalhador;
- Na Pá Giratória: o valor encontrado para R é de 2,11, o que representa uma probabilidade alta de dano à saúde do trabalhador.

Em relação à % de dano na coluna lombar (π), temos:

- No *Dumper*: o valor encontrado de π é igual a 26,9% de dano na coluna lombar;
- No Carro de Perfuração: o valor encontrado de π é igual a 6,1% de dano na coluna lombar;
- Na Pá Giratória: o valor encontrado de π é igual a 88,1% de dano na coluna lombar.

Conclui-se que a pior situação em termos de saúde ocupacional, é a do condutor da Pá Giratória, tendo em conta o parâmetro R, confirmado pelos valores de π.



## 5. REFERÊNCIAS

- [1] OSHA UE. (2019). *Work-related musculoskeletal disorders : prevalence, costs and demographics in the EU*. <https://doi.org/10.2802/66947>.
- [2] Eurostat. (2010). Health and safety at work in the GDR. In *East Central Europe* (Vol. 14). <https://doi.org/10.2785/38630.www.gep.mtsss.gov.pt>
- [3] GEP. (2018). *Coleção Estatísticas - Acidentes de Trabalho*. Recuperado de [www.gep.mtsss.gov.pt](http://www.gep.mtsss.gov.pt).
- [4] Griffin, Michael J. (1990). Measurement and evaluation of whole-body vibration at work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6(1), 45–54. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(90\)90049-8](https://doi.org/10.1016/0169-8141(90)90049-8).
- [5] Vihlborg, P., Bryngelsson, I. L., Lindgren, B., Gunnarsson, L. G., & Graff, P. (2017). Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 62, 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.02.010>.
- [6] Sandi, J., Paulo Testa, J. V., Battistuzzi Martins, M., Fiorese, D. A., & Pereira Lanças, K. (2018). Vibração Ocorrente Sobre O Corpo Inteiro Do Operador De Trator Agrícola Em Ensaio Padronizado. *Journal of Neotropical Agriculture*, 5(2), 54–61. <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2152>.
- [7] Griffin. M.J. (1990). *Handbook of human vibration*. Academic Press (1a ed). London.
- [8] Griffin, M. J., & Erdreich, J. (1991). Handbook of Human Vibration. In *The Journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 90). <https://doi.org/10.1121/1.401606>.
- [9] INE. INE - Classificação Portuguesa das Actividades Económicas. (2007).
- [10] Bernardo, C. M. da R. (2013). Detecção de padrões de vibrações de corpo inteiro em ciclos de Perfuração, carga e transporte em pedreira.
- [11] Azrah, K., Mirzaei, R., Poursadeghiyan, M., Baneshi, M. M., & Ebrahimi, M. H. (2018). Evaluation of Whole-Body Vibration Exposure Among Urban Metro Drivers: Comparing ISO2631-1 and ISO2631-5 Standards to Evaluate Exposure. *Health Scope*, 7(2). <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.55928>.
- [12] ISO 2631-5:2018. (2018). INTERNATIONAL STANDARD Mechanical vibration — Evaluation. *Iso.Org, Eva*
- [13] Johannig, E. (2015). Whole-body vibration-related health disorders in occupational medicine – an international comparison. *Ergonomics*, 58(7), 1239–1252. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1005170>.