



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÕES OCUPACIONAIS EM MANOBRADORES DE EQUIPAMENTOS PESADOS COM ANÁLISE EM FREQUÊNCIA, SEGUNDO AS NORMAS NP ISO 2631-1:2007 E ISO 2631-5:2018

Kemislani de Souza Lima

Tese escrita em Português do Brasil

Orientador: Professora Doutora Maria Luísa Pontes da Silva Ferreira de Matos (Professor Auxiliar Convocado)..... (FEUP)

Coorientador: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz- (Professor Associado).....(FEUP)

Arguente: Doutora Emília Quelhas Costa (Investigador na área SHST).....(Investigador na área SHST)

Presidente do Júri: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz- (Professor Associado)(FEUP)

2020



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654

 Telephone: +351 22 508 14 00  Fax: +351 22 508 14 40

 URL: <http://www.fe.up.pt>  Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela graça de ter alcançado o meu objetivo, pois só Deus conhece aquilo que carregamos em nosso coração.

A minha amada mãe Francisca Lima pela luta, pela resiliência e todos os ensinamentos. Aos meus irmãos de sangue Jaqueline Gomes e Kemerson Lima e a minha sobrinha e afilhada Kerliany Lima, pois tudo aquilo que almejo na vida, foi para que possa compartilhar com vocês e dar-vos suporte em vossas vidas, amo vocês.

A minha pequena amada e doce filha Kaly Silva, pois és o meu bem mais precioso. Obrigada por suportar as ausências e a distância que essa conquista outrora exigia. Ao meu esposo Raimundo Silva, muito obrigada por ter me ajudado e incentivado nessa caminhada, pois sem você e a Kaly, não teria força e coragem para fazê-lo. Amo muito vocês!

Aos familiares que guardo no coração, a saudade é enorme assim como a vontade de vos abraçar.

A minha orientadora profa Doutora Maria Luisa Matos, muito obrigada pela paciência e por todo o conhecimento a mim repassado. Jamais esquecerei de vós. Aos professores do curso pelos ensinamentos não só teóricos como também de vida.

Aos amigos do Mestrado Cleres Borges e Marcelo de Paulo pelo companheirismo, mesmo com as discussões, vocês foram muito importantes nesse caminho. Obrigada!

Aos demais amigos, obrigada pelas palavras de conforto, pelos sorrisos fartos e pela força quando por vezes o sentimento era de choro.

DESTAQUES

1. Apresentar os valores de exposição a Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) às quais os trabalhadores estão expostos - A(8) e VDV;
2. Comparar os resultados obtidos com a legislação vigente;
3. Demonstrar quais os efeitos da vibração no trabalhador, quanto a saúde, ao conforto e ao desempenho de suas atividades;
4. Relatar quais os órgãos do corpo do trabalhador que poderão ser afetados pela exposição a vibração;
5. Aplicar as normas NP ISO 2631-1:2007 e ISO 2631-5:2018;

HIGHLIGHTS

1. Display exposure values to which workers are exposed (A (8)) and (VDV);
2. Compare the results obtained with the current legislation;
3. Demonstrate the effects of vibration at worker's levels on their perception of the health, comfort and performance of their activities;
4. Report which organs of the worker's body may be affected by exposure to vibration;
5. Apply as ISO 2631: 1 and 2631: 5 standards;

RESUMO

Os trabalhadores no âmbito da UE estão expostos a inúmeros agentes físicos nos postos de trabalho. Segundo a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (OSHA UE, 2019), 20% dos trabalhadores encontram-se expostos a vibrações mecânicas em Portugal e os principais setores de exposição são a construção civil, agricultura e a indústria extrativa. O objetivo desta Dissertação compreende a avaliação da exposição do trabalhador em termos de frequência de vibração e respetivo fenómeno da ressonância, os efeitos na saúde do trabalhador de acordo com o Decreto Lei e Directiva Europeia para valores de A(8) e valores de dose de vibração, avaliando-se a saúde, o conforto e o enjoo ao movimento regulamentados pela NP ISO 2631-1:2007 e o risco de lesão a níveis de coluna lombar e a probabilidade de dano na coluna lombar através da ISO 2631-5:2018 do trabalhador exposto na Indústria Extrativa a Céu Aberto.

O trabalho experimental foi realizado em 2013 numa pedreira a céu aberto do norte de Portugal dedicada à produção de agregados britados, por uma equipe da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foram estudados três postos de trabalho distintos e a metodologia seguiu as recomendações da NP ISO 2631-1:2007 e a ISO 2631-5:2018. Foram utilizados equipamentos de medição e análise de vibração da marca SVANTEK, modelo SV 106 e um acelerómetro, possibilitando a medição da vibração nos três eixos (longitudinal xx, lateral yy, vertical zz). A monitorização das Vibrações de Corpo Inteiro (VCI) foi feita em posto de trabalho com tempos de medição na ordem das 3-4 horas, obtendo-se cerca de 10.800 medições. Os postos de trabalho analisados são: a) Carro de perfuração, com 02 ciclos de trabalho; b) Pá Carregadora Giratória que é um posto de trabalho constituído por tarefas de carga e arrumação do material desmontado, com 04 ciclos de trabalho; c) *Dumper* que inclui tarefas claramente distintas, com 03 ciclos de trabalho;

Os resultados obtidos demonstram que os postos de trabalho *Dumper* e Pá Giratória apresentam valores de A(8) de $0,5661\text{m/s}^2$ e VDV de $12,37\text{m/s}^{1,75}$ e A(8) de $0,7687\text{m/s}^2$ e VDV de $13,96\text{m/s}^{1,75}$ respetivamente, valores em não conformidade com o Decreto Lei e com a Directiva Europeia em relação ao valor de ação, estando dentro do valor limite de exposição permitido. Em relação aos resultados obtidos pela metodologia da NP ISO 2631-1:2007, verifica-se que os postos de trabalho *Dumper* e Pá Giratória apresentam Desconforto em relação ao assento, probabilidade alta e média respetivamente, em relação aos níveis de probabilidade de enjoo ao movimento e o Carro de perfuração não apresenta desconforto e a incidência de enjoo ao movimento é baixa. Já em relação a ISO 2631-5:2018, tem-se que no *Dumper* o risco de lesão na coluna é de 1,07 e probabilidade de dano à coluna de 26,9%; O Carro de perfuração apresenta um risco de lesão na coluna de 0,61 e probabilidade de dano à coluna de 6,10%; A Pá Giratória, apresenta um risco de lesão na coluna de 2,11 e probabilidade de dano à coluna de 88,10%. Para os resultados obtidos a partir das frequências de vibração temos que existe uma probabilidade do manobrador do *Dumper* ter uma diminuição da acuidade visual, perturbações a níveis do sistema nervoso central e da coluna espinhal. Para o manobrador do Carro de perfuração existe a probabilidade de ter perturbações na massa abdominal, a nível de coluna espinhal e na acuidade visual. Para o manobrador da Pá Giratória há probabilidade de arritmias cardíacas e reflexos lentos.

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

ABSTRACT

EU workers are exposed to various physical agents in the workplace. According to the European Agency for Safety and Health at Work (OSHA UE, 2019), 20% of workers are exposed to mechanical vibrations in Portugal and the main sectors of exposure are civil construction, agriculture and extractive industry. The objective of this dissertation comprises the evaluation of the worker's exposure in terms of frequency of vibration and the result of the resonance, the effects on the worker's health according to the Decree Law and European Directive for values of A (8) and values of dose of vibration, also available in the comfort and use of the movement regulated by NP ISO 2631-1: 2007 and the risk of injury to lumbar spine levels and the probability of damage to the lumbar spine during ISO 2631-5: 2018 of the worker exposed in the Industry Open Pit Extraction.

The experimental work was carried out in 2013, in a country open to the north of Portugal, dedicated to the production of British aggregates, by a team from the Faculty of Engineering of the University of Porto. Three different workstations and methods followed by NP ISO 2631-1: 2007 and ISO 2631-5: 2018 standards were studied. Vibration analysis and analysis equipment of the SVANTEK brand, model SV 106 and an accelerometer were used, allowing the use vibration in the three axes (longitudinal xx, lateral yy, vertical zz). The monitoring of Whole Body Vibrations (VCI) was done at the workstation with request times in the order of 3-4 hours, obtaining about 10,800 measurements. The jobs analyzed are: a) Drilling car, with 02 working cycles; b) Rotating Loader, which is a workstation consisting of tasks for loading and storing the disassembled material, with 04 working cycles; c) Dumper that includes clearly distinct tasks, with 03 work cycles;

The results obtained demonstrate the working levels of Dumper and Rotary Shovel with A (8) values of 0.5661 m/s^2 and VDV of $12.37 \text{ m/s}^{1.75}$ and A (8) of 0.7687 m/s^2 and VDV of $13.96 \text{ m/s}^{1.75}$ respectively, values in non-compliance with Decree-Law and European Directive in relation to the share value ratio, exposure within the permitted limit of exposure. Regarding the results obtained by the methodology of NP ISO 2631-1: 2007, check if the Dumper and Shovel workstations use discomfort in relation to the seats, high and medium probability, respectively, in relation to the levels of probability of execution to the movement and the drilling car does not present discomfort and the incidence of joining the movement is low. In relation to ISO 2631-5: 2018, there is no dumper or risk of spinal injury of 1.07 and a probability of spinal damage of 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 spinal damage of 88.10%. For the results obtained from the vibration frequencies, there is a probability of maneuvering the Dumper with a reduction in visual acuity, disturbances in the levels of the central nervous system and spinal column. For the drill car manager there is a likelihood of having abdominal mass problems, a spinal column level and visual acuity. For the manager of Pá Giratória, there are chances of cardiac arrhythmias and reflexes.

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

ÍNDICE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 2 |
| 1.1 | ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 4 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 5 |
| 2.1 | APRESENTAÇÃO DA ENTIDADE..... | 5 |
| 2.2 | CONCEITOS BÁSICOS DO TRABALHO NUMA PEDREIRA | 6 |
| 2.3 | ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO..... | 8 |
| 2.4 | CONHECIMENTO CIENTÍFICO..... | 9 |
| 2.4.1 | Referencial Teórico | 11 |
| 2.5 | OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO..... | 15 |
| 2.5.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 2.5.2 | Objetivos Específico..... | 16 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 3.1 | Equipamentos | 16 |
| 3.2 | Dados da Amostragem | 18 |
| 3.3 | Análises dos dados | 18 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| 4.1 | CRITÉRIOS DE EXPOSIÇÃO DO CORPO INTEIRO À VIBRAÇÕES CONFORME A NORMA NP ISO 2631-1:2007. | 23 |
| 4.1.1 | Critério de Saúde (Anexo B da Norma) | 23 |
| 4.1.2 | Conforto e Percepção (Anexo C da Norma) | 25 |
| 4.1.3 | Incidência do enjoio ao movimento (Anexo D da Norma) | 27 |
| 4.2 | QUANTIFICAÇÃO DA VIBRAÇÃO DO CORPO INTEIRO EM RELAÇÃO À SAÚDE HUMANA NA POSTURA SENTADA (ISO 2631-5:2018)..... | 28 |
| 4.3 | ANÁLISE EM FREQUENCIA DE VIBRAÇÃO | 32 |
| 4.3.1 | Dumper | 32 |
| 4.3.2 | Carro de perfuração | 33 |
| 4.3.3 | Pá Giratória..... | 34 |
| 5. | CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 41 |
| 5.1 | CONCLUSÕES | 41 |
| 5.2 | PERSPECTIVA FUTURA | 42 |
| 6. | BIBLIOGRAFIA | 44 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ciclo de trabalho em pedreira: perfuração, carga e transporte..... | 5 |
| Figura 2 - Esquema do ciclo de trabalho do Carro de perfuração de perfuração..... | 6 |
| Figura 3 - Pá Carregadora Giratória em operação no seu ciclo de trabalho de carga. a) Operação de arrumo do material desmontado; b) Com o balde carregado em espera; c) Carga do Dumper. 7 | 7 |
| Figura 4 - Ilustração do ciclo de trabalho do Dumper – transporte. | 8 |
| Figura 5 - Diagrama baseado na metodologia Prisma. | 10 |
| Figura 6 – Exposição da Vibração nos operadores de equipamentos pesados. | 11 |
| Figura 7 – Frequência de ressonância do corpo humano. Fonte:adaptada de (Portela, 2014)..... | 13 |
| Figura 8 - Equipamento SV 106 Human Vibration e SV 38 acelerómetro de assento para o corpo todo. | 17 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Efeitos da exposição à vibração | 12 |
| Tabela 2 – Sensação de conforto | 13 |
| Tabela 3 – Valores limites | 14 |
| Tabela 4 - Características do equipamentos | 16 |
| Tabela 5 - Características do equipamento de medição..... | 17 |
| Tabela 6 - Caracterização dos condutores | 18 |
| Tabela 7 - Dados para determinação do A(8) no posto de trabalho | 23 |
| Tabela 8 – Comparativo do A(8) com o Diretiva Europeia N°44, 2002. | 24 |
| Tabela 9 – Comparativo do A(8) com o Decreto Lei N°46/2006..... | 24 |
| Tabela 10 – Valores de Dose de vibração e valores máximos de vibração transientes..... | 25 |
| Tabela 11 - Dados para determinação das reações ao conforto..... | 26 |
| Tabela 12 – Variáveis para determinação do Enjoo ao movimento | 27 |
| Tabela 13 – Variáveis utilizadas na ISO 2631-5:2018 | 29 |
| Tabela 14 - Força máxima da coluna lombar em relação ao tempo de exposição | 30 |
| Tabela 15 – Valores de Picos das Frequências de vibração | 32 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Valores de A(8) e de VDV | 25 |
| Gráfico 2 – Característica do conforto..... | 26 |
| Gráfico 3 – Característica do enjoo | 28 |
| Gráfico 4 – % ao Enjoo no movimento | 28 |
| Gráfico 5 – a) Valores máximos de Pico e b) Somatório dos picos máximos..... | 28 |
| Gráfico 6 - Dose de resposta espinhal..... | 29 |
| Gráfico 7 - Força máxima da coluna lombar (Su). a)Dumper; b) Carro e c) Pá Giratória | 30 |
| Gráfico 8 - % do Risco e probabilidade de lesão a coluna lombar | 31 |
| Gráfico 9 - Inter relação entre as variáveis | 31 |
| Gráfico 10 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z no Dumper..... | 36 |
| Gráfico 11 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z na Carro de perfuração | 38 |
| Gráfico 12 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z na Pá Giratória..... | 40 |

ÍNDICE DE FÓRMULAS

| | |
|-------------------|----|
| (Fórmula 1)..... | 19 |
| (Fórmula 2)..... | 19 |
| (Fórmula 3)..... | 19 |
| (Fórmula 4)..... | 19 |
| (Fórmula 5)..... | 19 |
| (Fórmula 6)..... | 20 |
| (Fórmula 7)..... | 20 |
| (Fórmula 8)..... | 20 |
| (Fórmula 9)..... | 20 |
| (Fórmula 10)..... | 21 |
| (Fórmula 11)..... | 21 |
| (Fórmula 12)..... | 21 |
| (Fórmula 13)..... | 21 |

ABREVIATURAS

A(8) – Exposição pessoal diária a vibrações;

APCER – Associação Portuguesa de CertificaçãoCertificacao;

$a_w(t)$ – Aceleração ponderada em função do tempo;

a_{wx} – Aceleração ponderada na direção x em função do tempo;

a_{wy} – Aceleração ponderada na direção y em função do tempo;

a_{wz} – Aceleração ponderada na direção z em função do tempo;

$A_{z,i}(t)$ – I-ésimo pico da aceleração de resposta $A_z(t)$;

$A_z(t)$ – Função de resposta da aceleração da coluna vertebral dependente do tempo;

b – Ano de início da exposição;

$C_{dyn,i}$ – força compressiva de pico;

DL – Decreto-Lei;

D_z – Dose de aceleração;

$D_{z,j}$ – Dose de aceleração para a condição j;

D_{zd} – Dose de aceleração para exposição diária;

EU – União Europeia

eVDV – Estimated vibration dose value (valor estimado para dose de vibração);

g – Aceleração da gravidade;

GEP – Gabinete de estratégia e planeamento

i – Contador do ano;

IMC – Cálculo entre o quociente da massa corpórea e o quadrado da altura;

ISO – International Organization for Standardization (em português, Organização Internacional de Normalização);

k – Fator multiplicativo;

MTVV – Maximum transient vibration value (valor máximo da vibração transiente);

m_z – Fator de conversão da tensão de compressão em função da massa;

n – Número de anos de exposição;

N – Número de dias de exposição por ano;

N_i – Número de dias de exposição por ano i;

NP – Norma Portuguesa;

OSHAS – Occupational Health and Safety Assessment Series;

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Statement;

R – Variável de tensão para o cálculo do risco;

r.m.s. – *Root Mean Square* (Valor eficaz ponderado);

R^A – Fator de risco baseado em S_d^A ;

RMS – Root Mean Square (em português, valor eficaz de aceleração/aceleração);

S^A – Dose compressiva;

S_d^A – Dose diária de compressão;

S_j^A – Stress dinâmico de compressão da coluna lombar devido à exposição à vibração condição j;

$S_{stat,i}^A$ – Valor médio da força de compressão-descompressão dividido pela área de uma placa terminal de vértebra B (mm²) para o ano i;

$S_{u,i}^A$ – Força de resistência máxima de uma vértebra lombar para uma pessoa de idade (b + i) anos, sendo b a idade em que a exposição começou;

$S_{d,i}$ – Dose diária de compressão relacionada ao ano i;

S_{ed} – Dose equivalente de compressão na coluna;

$S_{stat,i}$ – Constante que representa o *stress* estático devido à força gravitacional;

$S_{u,i}$ – Força máxima da coluna lombar para uma pessoa de idade (b + i);

t - Tempo (variável de integração);

T – Duração da medição;

T_0 – Duração de referência de uma jornada laboral;

t_0 – Tempo de observação (tempo instantâneo);

$t_{d,j}$ – Período de tempo da exposição diária à condição j;

$t_{m,j}$ – Período de tempo medido à condição j;

VCI – Vibração de corpo inteiro;

VDV – Valor Dose de Vibração;

VDV^4 – Valor de Dose a quarta potência;

VLE – Valor Limite de Exposição;

$v_p(t)$ – Valor pico em função do tempo;

WBW – Whole body vibration;

α – Coeficiente dependente do gênero masculino para cálculo de Π ;

β – Coeficiente dependente do gênero feminino para cálculo de Π ;

Π – Probabilidade de dano a coluna lombar.

PARTE 1



1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (OSHA UE, 2019), 20% dos trabalhadores da União Europeia (EU) estão expostos a riscos físicos tendo como principal agente a partir do ano de 2015 as vibrações. Ainda de acordo com o mesmo relatório, 40% dos trabalhadores relatam que a sua saúde e segurança está em risco devido a exposição a esse e outros agentes.

Segundo o Gabinete de Estatísticas da União Europeia (Eurostat, 2010), 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 exposição 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 (Eurostat, 2010).

Em Portugal, de acordo com o Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP, 2018), 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.

O modo como a transmissão da vibração ocorre no corpo, depende da interação entre os corpos expostos e o ponto de contato com o movimento que é realizado pelas máquinas e equipamentos. As respostas fisiológicas e psicológicas do corpo do trabalhador dependem de fatores intrínsecos e de fatores extrínsecos. Nesses fatores estão incluídos: os tipos de veículos (Empilhadeiras, *Dumpers*, Pá escavadeira, máquinas florestais, forwarders, guindastes móveis, caminhões, 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) (Griffin. M.J, 1990; Vihlborg, Bryngelsson, Lindgren, Gunnarsson, & Graff, 2017).

Os trabalhadores da Indústria Extrativa estão expostos a muitos riscos físicos, onde as vibrações ocupacionais ocorrem através do uso e manuseio de ferramentas manuais ou pneumáticas ou de outras máquinas, ou seja, nos manobreadores dos grandes veículos de transporte (Krajnak, 2018). A exposição também pode ocorrer durante o uso das ferramentas, maquinários ou em ocupações em que os trabalhadores manobram camiões, veículos de grande movimentação de terra ou ferramentas manuais, as quais estarão expostos à vibração do corpo inteiro (Eger, Kociolek, & Dickey, 2013).

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 estabelece acima do nível desejado, geram principalmente problemas de saúde ao trabalhador exposto (Sandi, Paulo Testa, Battistuzzi Martins, Fiorese, & Pereira Lanças, 2018)(Michael J. Griffin, 1990).

A exposição a vibração no sistema corpo inteiro, acarreta inúmeros efeitos sobre a saúde do

trabalhador, afetando também a sua percepção sobre o conforto e o desempenho (Caffaro, Preti, Micheletti Cremasco, & Cavallo, 2017). O estudo científico acerca da resposta do corpo humano à vibração ocupacional tem recebido uma maior atenção e preocupação na região da coluna lombar. Verifica-se que a transmissibilidade sobre a coluna vertebral é dada na faixa de frequência compreendida entre 4 e 7 Hz e que muitos dos veículos pesados apresentam frequências nesta faixa particular (Seidel & Heide, 1986). Observou-se ainda que manobreadores de tratores, de caminhões de lixo e de veículos para circulação fora de estradas, apresentavam uma maior prevalência de problemas na região das costas, em relação aos outros trabalhadores não expostos à vibração ocupacional (Costa, 2012).

Aponta (Pollard, Porter, Mayton, Xu, & Weston, 2017) que os operadores de equipamentos móveis são normalmente expostos a VCI devido ao movimento de seus veículos em condições de solo adverso. A VCI é transmitido através da estrutura do caminhão ao operador através do assento do operador. Esse tipo de vibração contribue para a fadiga e podem ter efeitos prejudiciais à saúde e ao desempenho no trabalho. Os efeitos da exposição a VCI na estabilidade postural foram examinados em estudos de laboratório e os resultados mostram efeitos inconsistentes no equilíbrio.

Inúmeros estudos têm demonstrado que a vibração no corpo inteiro (VCI) está associada a inúmeras patologias, entre elas as lesões musculoesqueléticas, lombalgias, distúrbios ocupacionais e uma associação dose-efeito entre o nível de exposição à vibração (intensidade e duração) e a lesão ocupacional. Os mesmos autores enfatizam que é bastante elevado o risco em uma ampla gama de ocupações profissionais, incluindo veículos off-road e on-road (Vihlborg et al., 2017).

A exposição as 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 busca quantificar os níveis de exposição dos manobreadores às vibrações mecânicas de corpo inteiro, contrapor os resultados das frequências de vibrações em relação ao fenômeno da ressonância, comparar os resultados com as recomendações da norma NP ISO 2631-1: 2007 (no critério de: saúde, desempenho e conforto), ISO 2631-5:2018 (na quantificação da vibração contendo vários choques em relação à saúde humana na postura sentada) e do Decreto-Lei 46/2006 (DL n.º 46/2006, 2006; NP ISO 2631-1:2007, 2007).

1.1 Organização da Dissertação

A Dissertação segue uma sequência lógica de desenvolvimento e apresenta-se da seguinte forma:

Parte 1

1 – Introdução: apresenta-se uma breve descrição da área de estudo e sua importância, ressaltando a justificativa, objetivo geral, objetivos específicos, hipóteses, contribuição do autor e limitações do trabalho;

2 - Fundamentação do trabalho: neste capítulo é abordada a área das vibrações no corpo humano, apresentando-se trabalhos anteriores, efeitos da vibração no corpo humano com relação à saúde e conforto, além da apresentação da prevalência de dor lombar em manobreadores;

3 - Materiais e Métodos: este capítulo apresenta os materiais e métodos, descrevendo as características do estudo e os procedimentos de medição da vibração de corpo inteiro e prevalência de dor lombar, além da maneira como os dados foram analisados;

Parte 2

4 – Resultados e discussão: apresenta os resultados obtidos com as medições de vibração de corpo inteiro, prevalência de dor lombar e análise em frequência de vibração, após a apresentação dos resultados, os dados são analisados comparativamente com a literatura científica existente que permite a discussão dos resultados.

5 – Conclusões: nesta parte final é apresentada a conclusão do estudo, bem como a perspectiva de trabalhos futuros;

6 – Referências: Referências bibliográficas consultadas;

Anexos: Folha de campo;

Apêndice: Planilhas de cálculos

2 FUNDAMENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

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. O crescimento e a consolidação económica da empresa ditaram o seu alargamento e expansão enquanto prestador de serviços nas áreas da hidráulica, ambiente, energia e infraestruturas.

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” (INE, 2007).

O início do processo produtivo ocorre com a extração da massa mineral. Logo após o desmorte, onde são agrupados e armazenados os blocos por classes de peso, sendo o restante material 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. Os agregados produzidos são submetidos a controlos, em laboratórios próprios e/ou externos credenciados, a fim de assegurar o controlo da qualidade da produção e a verificação da conformidade segundo os requisitos a que se propõem (Bernardo, 2013).

A empresa possuía à data da recolha dos dados certificação pela APCER - Associação Portuguesa de Certificação, em Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança, segundo as normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, no âmbito da Conceção, Desenvolvimento e Exploração de Agregados Britados e Produção de Betão. Neste contexto serão analisados as operações de perfuração, carga e transporte num ciclo de trabalho contínuo, como se ilustra na Figura 1.

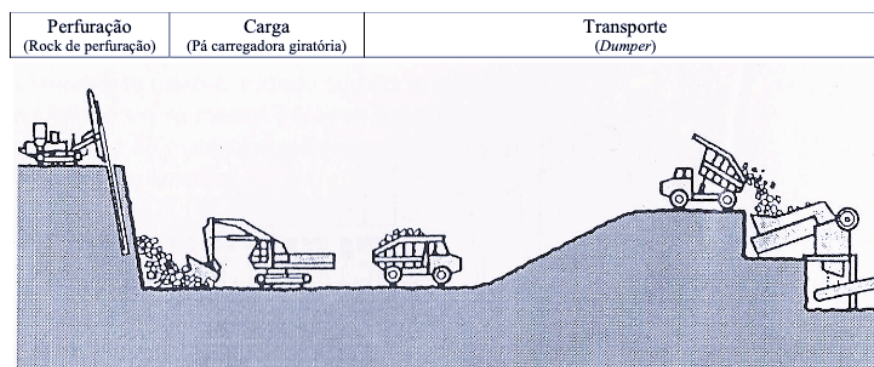


Figura 1 - Ciclo de trabalho em pedreira: perfuração, carga e transporte. Fonte (Bernardo, 2013; IGM - Instituto Geológico e Mineiro, 1999).

2.2 Conceitos básicos do trabalho numa pedreira

Perfuração

A operação de perfuração representa o início da fase de desmonte do minério, que depois é levada a cabo com arranque por explosivos, recorrendo a pegas de fogo na frente de desmonte (IGM - Instituto Geológico e Mineiro, 1999).

Num ciclo de trabalho habitual, o operador coloca o Carro de perfuração no local exato onde pretende fazer o furo (previamente assinalado), limpa a superfície a furar (remoção da marcação), posiciona a coluna de perfuração no local exato e com a inclinação desejada, executa o furo, introduz nova vara e volta a furar, repete estes dois últimos passos quantas vezes forem necessárias até atingir a profundidade pretendida. No fim do ciclo, recolhe as varas, desloca-se e recomeça de novo o ciclo de trabalho. O ciclo repete-se até que estejam feitos todos os furos determinados no diagrama de fogo. A introdução e remoção das varas, bem como a sua lubrificação, são feitas de modo automático (Bernardo, 2013). O esquema desta operação de perfuração está representado na Figura 2.

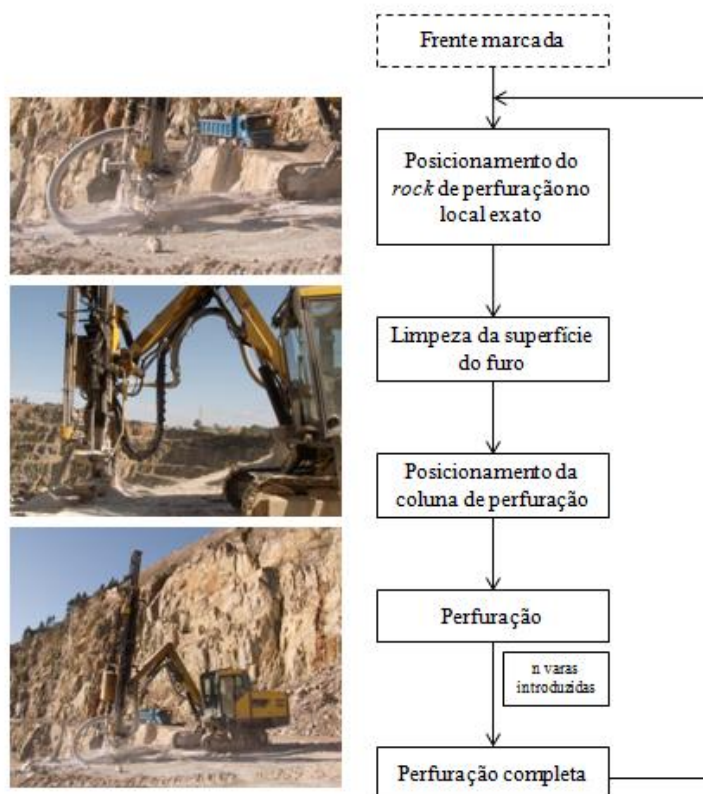


Figura 2 - Esquema do ciclo de trabalho do Carro de perfuração de perfuração. Fonte (Bernardo, 2013)

Carga (de camiões e *Dumpers*)

A carga do material desmontado é feita com recurso a Pás Carregadoras giratórias (rotação total) de rastros e por Pás Carregadoras de pneus. As Pás Carregadoras giratórias são máquinas de carga

por excelência. Por sua vez, as Pás Carregadoras de pneus possuem um sistema de acoplamento rápido do balde/garfo para trabalhos que impliquem mobilidade, manuseamento e carga de maiores volumes e pesos em caminhão com trailer específico, trabalhos de limpeza, entre outros. Neste trabalho foi apenas estudada a carga por Pá Carregadora giratória (Bernardo, 2013).

As operações de carga do material desmontado são diárias e contínuas. Os meios e técnicas utilizadas aplicam-se a todo o produto resultante do desmonte, quer este requeira a passagem pelo circuito de fragmentação (carga do *Dumper*) ou seja diretamente expedido para o exterior (carga de camiões).

Após o desmonte com recurso a explosivos, a Pá Carregadora Giratória desloca-se à frente já desmontada, arruma o material de modo a criar as condições de estabilidade, necessárias a um correto e seguro posicionamento e começa as operações (Bernardo, 2013).

Estas operações estão ilustradas na Figura 3. a) b) c).



Figura 3 - Pá Carregadora Giratória em operação no seu ciclo de trabalho de carga. a) Operação de arrumo do material desmontado; b) Com o balde carregado em espera; c) Carga do *Dumper*. Fonte (Bernardo, 2013)

Transporte

O transporte do material desmontado é feito com recurso a um *Dumper*. O *Dumper* é uma máquina lenta, mas robusta e com grande capacidade de carga. Estas características dão-lhe a capacidade de vencer terreno acidentado e bastante inclinado, fazendo dela a máquina indicada para trabalhos de carga e transporte em pedreiras. Em regra geral, o ciclo de transporte do *Dumper* possui as seguintes etapas: transporte com carga, viagem de ida carregado, viagem de regresso descarregado. A Figura 4 ilustra o ciclo de trabalho realizado pelo *Dumper* acima descrito (Bernardo, 2013).

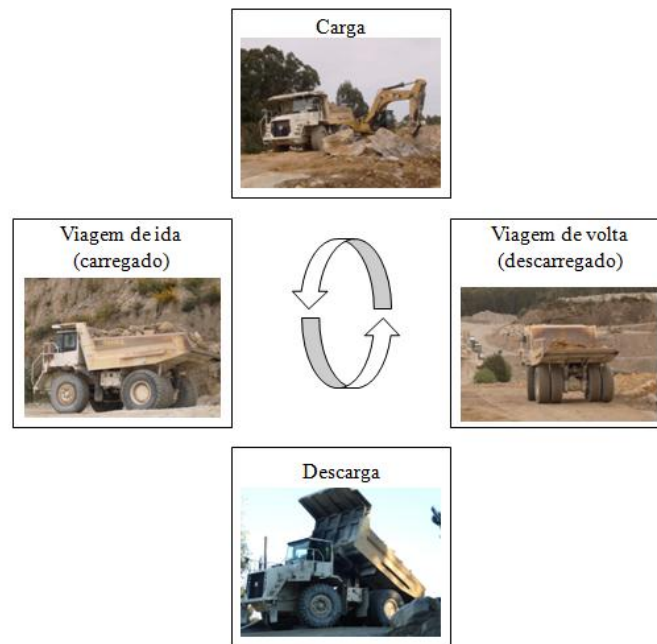


Figura 4 - Ilustração do ciclo de trabalho do Dumper – transporte. Fonte (Bernardo, 2013)

2.3 Enquadramento Legal e Normativo

O Decreto-Lei no 46/2006 de 24 de fevereiro transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva no 2002/44/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, quanto às prescrições mínimas de proteção da saúde e segurança dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas. Este diploma determina os princípios gerais de avaliação dos riscos a vibrações, para além de definir os valores limite de exposição e de Ação a vibrações e elenca um conjunto de medidas preventivas a aplicar quando alcançados ou ultrapassados esses valores;

ISO 8041:1990. “Human response to vibration - Measuring instrumentation.” International Standard Organization;

ISO 2631-4:2001, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems;

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”;

NP ISO 26311:2007. “Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais”;

EN 14253:2003+A1:2007. Vibrações mecânicas – Medições e cálculo de exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro – Guia prático;

As normas supra referidas estabelecem os critérios a que devem obedecer as medições na avaliação da exposição a vibrações mecânicas.

Guia RELACRE 21 (2008) – Exposição dos trabalhadores às vibrações. Apontamentos sobre a estimativa das incertezas de medição.

Guia RELACRE 23 (2014) – Guia de boas práticas de medição de vibrações.

2.4 Conhecimento Científico

A pesquisa bibliográfica realizada foi baseada no PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Statement).

A pesquisa dos artigos científicos efetuou-se recorrendo a Bases de Dados e Revistas Científicas disponíveis online para consulta pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, incluindo-se, também artigos referenciados na bibliografia dos artigos selecionados e analisados.

Para realizar a pesquisa, foi necessário definir um conjunto de palavras-chave, utilizadas em diferentes combinações de três ou quatro palavras. As palavras-chaves que se selecionaram foram: “vibration”, “frequency”, “occupational” e “occupational health”, como principais palavras-chave e como secundárias: “health”, “maneuvers”, “heavy equipment” e “heavy equipment drivers”. A pesquisa foi efetuada nas Bases de Dados por Título, Abstract e Keywords quando possível.

Na refinação dos resultados obtidos, os critérios de exclusão adotados foram:

- **Data de publicação:** excluíram-se artigos que foram publicados antes de 2009, de modo a garantir que, apenas se analisariam artigos com conhecimentos recentes na área em estudo (número de artigos excluídos: 873);
- **Tipo de documento:** apenas se consideraram para análise documentos no formato de article e article review (número de artigos excluídos: 73);
- **Língua:** excluíram-se todos os artigos que não estivessem publicados na língua inglesa (número de artigos excluídos: 118);
- **Relevância para o tema:** excluíram-se artigos que não abordavam as temáticas das vibrações de corpo inteiro em equipamentos pesados (número de artigos excluídos: 143).

Importa referir ainda que, foram excluídos os artigos que surgiam repetidos na pesquisa executada.

Finalmente, foram aplicados critérios de elegibilidade em que, apenas eram incluídos artigos com uma estrutura definida (resumo, introdução, metodologia, resultados, discussão e conclusão), disponíveis em texto integral e que avaliassem a exposição a vibrações de corpo inteiro.

As informações mais relevante na pesquisa foram encontradas em: SCOPUS, Web of Science, Academic Search Complete e Taylor & Francis.

Comparativamente, às palavras-chave, as combinações que permitiram obter resultados mais próximos foram: “frequency”, "vibration”, “occupational”, “driver” e "vibration”, e “vibration occupational” e “health”.

No final da pesquisa bibliográfica, contabilizaram-se 1237 artigos, como número inicial de artigos registados, dos quais, 19 foram identificados por pesquisa externa (recorrendo às referências bibliográficas de artigos identificados nas Bases de Dados).

Após aplicação dos critérios de exclusão, bem como, os critérios de inclusão e removidos os artigos duplicados, obteve-se um número de 30 artigos para serem analisados.

Na Figura 5, apresenta-se um esquema baseado no PRISMA, que permite analisar, de modo simples e organizado, a quantificação da pesquisa bibliográfica descrita anteriormente.

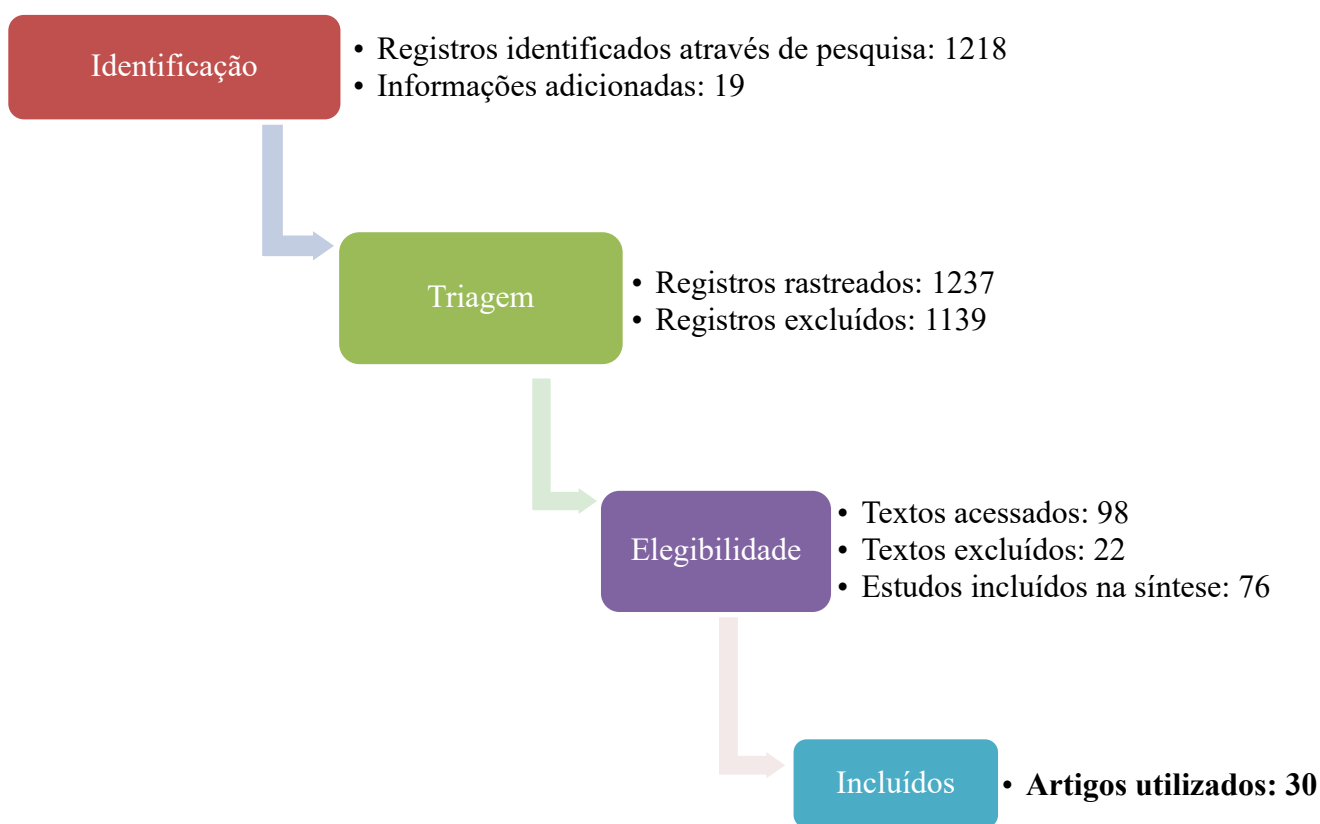


Figura 5 - Diagrama baseado na metodologia Prisma.

Os 30 artigos identificados através da pesquisa foram analisados, sendo que a informação considerada de maior relevância durante a análise foi: tipo de amostra tratada, metodologia aplicada, parâmetros avaliados, legislação e normalização utilizada, atividades relacionadas e tipo de resultados obtidos.

2.4.1 Referencial Teórico

A exposição humana à vibração pode produzir diversas sensações (incluindo prazer, desconforto e dor) e interferir em uma ampla gama de atividades (como movimentos de leitura e controle das mãos). A vibração do corpo também pode causar efeitos fisiológicos e patológicos. Oscilações de baixa frequência (com uma frequência abaixo de 0,5 Hz) podem causar doença de movimento, existindo ainda critérios onde a gravidade à exposição poderá ser julgada: (i) os distúrbios causados pela vibração; (ii) a variedade de concordância correspondente ao limite; (iii) a prevalência da condição correspondente até o limite; e (iv) um método de medição da vibração com respeito até o limite (Michael J. Griffin, 1990).

Os operadores de equipamentos móveis são normalmente expostos a VCI devido ao movimento de seus veículos em condições de solo adverso. A VCI é transmitido através da estrutura do caminhão ao operador através do assento. Esse tipo de vibração contribue para a fadiga e podem ter efeitos prejudiciais à saúde e ao desempenho no trabalho. Os efeitos da exposição a VCI na estabilidade postural foram examinados em estudos de laboratório e os resultados mostram efeitos inconsistentes no equilíbrio (Portela, 2014).

Uma característica importante do estudo da frequência de vibração é a frequência de ressonância. Ela ocorre quando um sistema emite vibração, podendo ser enquadrada com uma vibração livre, que é quando o sistema oscila sob a ação de forças internas, ou seja, o sistema vibra em sua frequência natural, e a vibração forçada, que é causada por forças externas (Portela, 2014).

Para as análises em frequências de vibrações, serão analisados nos posto de trabalho a superfície dos assentos dos caminhões: *Dumper*, Carro de perfuração e Pá Giratória. O eixo predominante nas análises em relação ao do assento de acordo com Griffin (2012), deverá ser o eixo z (Griffin. M.J, 1990), conforme a Figura .

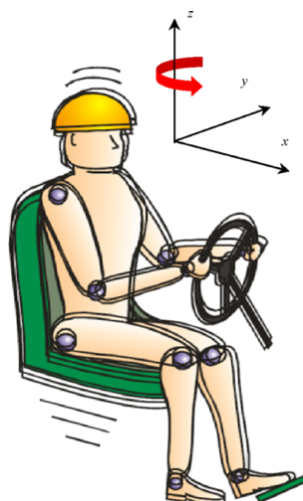


Figura 6 – Exposição da Vibração nos operadores de equipamentos pesados. Fonte: (Mayton, Jobes, & Gallagher, 2014).

Nessa análise, serão determinadas os valores das frequências de vibração em Hertz (Hz) a partir das acelerações (R.M.S) da banda de 1/3 de oitavas expressas em m/s^2 . As frequências registradas serão em:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|-----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|-----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|----|
| 0.4 | 0.5 | 0.63 | 0.8 | 1 | 1.25 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.15 | 4 | 5 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 31.5 | 40 | 50 | 63 | 80 | |
| Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz | Hz |

Os valores encontrados em termos de aceleração (RMS) em m/s^2 , serão contrapostos aos valores de frequências de vibração em Hertz (Hz) dos órgãos do corpo humano, onde será possível analisar quais os órgãos do corpo podem ser afetados pelo fenômeno da ressonância.

Destaca Costa (2012), que a frequência vibracional (no eixo z) entre 2, 5, 8, 11, 14, 17 e 20 Hz com magnitude de acelerações em $0,69m/s^2$, poderão causar perturbações na ao corpo humano durante a sua atividade laboral. Considera ainda que para frequências entre 2,5; 3.15; 4.0; 5.0; 6.3 e 8.0 Hz com acelerações na faixa de $0,7 m/s^2$, pode afetar o sistema circulatório, o sistema digestivo, podendo ter efeitos musculo esqueléticos, efeitos cognitivos e perturbação na visão (Costa, 2012).

Comentam os autores (M. J. Griffin & Erdreich, 1991; Michael J. Griffin, 1990; Portela, 2014), que os efeitos da vibração no corpo humano, são determinados pela faixa de frequência envolvida estando os prováveis efeitos da exposição às vibrações descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Efeitos da exposição à vibração

| | |
|---------------------------------------|--|
| Na faixa de frequência de 0,1 a 0,7Hz | Diversas pessoas apresentam enjoos, náuseas, perda de peso, redução da acuidade visual, insônia, desordens do labirinto e cólicas no colon, perturbam o sistema nervoso central. |
| Na faixa entre 1 a 10Hz; | Patologias diversas ao nível da coluna vertebral, lombalgias lumbociáticas, hérnias; Agravam lesões raquidianas menores e incidem sobre perturbações devidas a más posturas; Sintomas neurológicos: variação de ritmo cerebral, dificuldade de inibição de reflexos; Perturbações com diminuição da visão e no equilíbrio, aparentemente existem alterações nas condições de ventilação pulmonar e taxa respiratória com vibrações na ordem de $4,9 m/s^2$. |
| Na faixa de frequência de 1 a 30Hz | As pessoas apresentam dificuldades para manter a postura e reflexos lentos na atividade muscular/postural. |
| Nas frequências inferiores a 20Hz | No sistema cardiovascular uma possível alteração, apresenta um aumento da frequência cardíaca; |

Fonte: adaptada de (M. J. Griffin & Erdreich, 1991; Michael J. Griffin, 1990; Portela, 2014)

No corpo humano, cada órgão possui uma frequência natural específica e quando a vibração através das frequências de vibrações se igualam as frequências do órgãos, ocorre uma perturbação, a esse fenômeno chamamos de ressonância, de acordo com o que mostra a Figura 7, para um indivíduo sentado. As vibrações verticais (eixo z) são as mais perturbadoras pois podem afetar órgãos vitais revestidos pela parede torácica, a massa abdominal e a coluna vertebral.

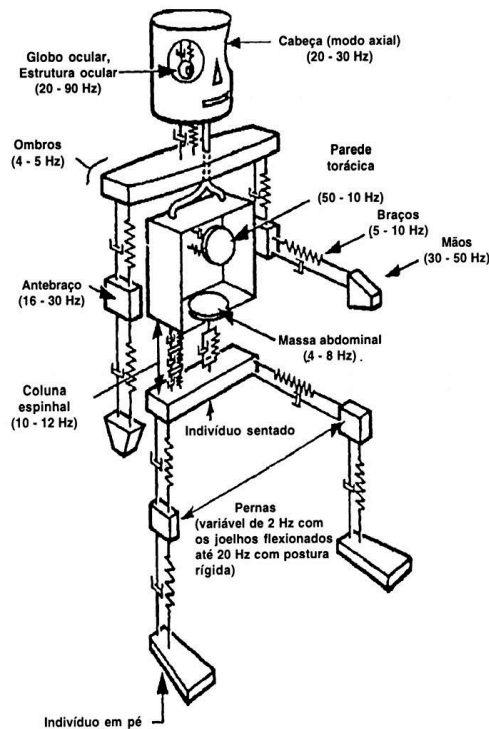


Figura 7 – Frequência de ressonância do corpo humano. Fonte: adaptada de (Miguel, 2014; Portela, 2014).

Destaca Miguel (2014), que a parte mais importante do sistema é o subsistema do tórax-abdômen, pois apresentam efeitos particulares de ressonância na gama de 3 a 6Hz, tornam muito difícil um isolamento das vibrações que afetam o indivíduo sentado (Miguel, 2014).

NP ISO 2631-1:2007 – Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações: Critérios de saúde, conforto e enjoo

Identifica a Norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007) que as reações relativas ao conforto, dependem da susceptibilidade do manobreador ao tipo de conforto que pode depender do tempo de exposição, do tipo de atividade, além de outros fatores tais como temperatura, ruído, entre outros. Podem ser classificados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Sensação de conforto

| Valores de a_w (m/s^2) | Sensação de conforto |
|------------------------------------|------------------------------|
| Inferior a $0,315 m/s^2$ | Não é desconfortável |
| Entre $0,315 m/s^2$ a $0,63 m/s^2$ | É um pouco desconfortável |
| Entre $0,5 m/s^2$ a $1 m/s^2$ | Razoavelmente desconfortável |
| Entre $0,8 m/s^2$ a $1,6 m/s^2$ | Desconfortável |
| Entre $1,25 m/s^2$ a $2,5 m/s^2$ | Muito desconfortável |
| Superior a $2 m/s^2$ | Extremamente desconfortável |

Fonte: adaptada de ISO 2631-1:2007

A probabilidade de ocorrerem alguns sintomas relacionados ao enjoo do movimento, está diretamente relacionado com o aumento da duração da exposição ao movimento, que se encontra definido na norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007). Esses valores são definidos de forma que correspondam a demonstrar qual é a maior incidência do trabalho ao enjoo no eixo z.

O Decreto Lei (DL n.º 46/2006, 2006) e a Directiva europeia (EU Directiva 2002/44, 2002) estabelecem para critérios de saúde, que devem ser medidos no ambiente de trabalho os valores de exposição as vibrações diárias A(8) e os valores de dose diária de vibração (VDV) de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores limites

| Parâmetros | Valores Limite de Ação (LA) | Valores Limite de Exposição (LE) |
|------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| A(8) | 0,5 m/s ² | 1,15 m/s ² |
| VDV | 9,1 m/s ^{1,75} | 21 m/s ^{1,75} |

Fonte: adaptada de DL 46/2006 E DE 44/2002.

Em sua pesquisa, Silveira (Silveira, Neto, & Machado, 2019) utilizando equipamentos e sistema de amostragem similares, observou em veículos Off road, onde possuem similaridade com os utilizados nas pedreiras, encontrou valores de A(8) de 0,43m/s² e valores de dose de vibração (VDV) de 9,98 m/s^{1,75}, observando também que os valores de VDV excederam o estabelecido na directiva.

Bovenzi em 2010, realizou um estudo em motoristas de equipamentos pesados obtendo valores para A(8) de 0,5 m/s² e valores de VDV de 9,1 m/s^{1,75}, muito similares ao estudo aqui desempenhado. Demonstrando ainda que os valores de vibração aos quais os motoristas desses equipamentos estão expostos, margeiam os valores de ação, propondo que sejam tomadas medidas para evitar que esses valores aumentem, fazendo com que os trabalhadores tenham sua saúde perturbada (Bovenzi, 2010).

NP ISO 2631-5:2018 – Método para avaliação de vibração contendo múltiplos choques

De acordo com a Norma (ISO 2631-5:2018, 2018), os filtros de ponderação utilizados na norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007) não devem ser aplicados neste contexto. 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 9,81m/s², apresentando condições severas em relação a exposição. Não foi possível executar o Anexo D da norma por limitações ao uso do Programa MatLab.

O autor relata (Azrah, Mirzaei, Poursadeghiyan, Baneshi, & Ebrahimi, 2018) ao desenvolver seu trabalho, que quando os valores do fator R 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 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 usuário, a idade em que ocorreu sua primeira exposição à vibração, as horas diárias de exposição e o número total de anos de exposição.

Segundo a Norma (ISO 2631-5:2018, 2018), 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 estresse 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 (π), é calculada a partir da variável R , em combinação com os coeficientes de género (α e β), que possui uma variação entre 0 (risco de lesão de 0%) a 1 (risco de lesão de 100%) (ISO 2631-5:2018, 2018).

Sustenta Johanning (2015), 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 co-fatores importantes em uma 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 estresse músculoquelético (Johanning, 2015).

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 'estressores' combinados da VCI e posturas inadequadas como as posturas de assento diferentes e inclinação do encosto que tendem a influenciar o desconforto da vibração.

2.5 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

2.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da dissertação é analisar as frequência de vibração ocupacional no corpo inteiro de modo a verificar, quais as principais consequências para os manobreadores de equipamentos pesados assim como avaliar quais os riscos de lesão na coluna lombar e quais órgãos podem sofrer o fenômeno da ressonância.

2.5.2 Objetivos Específico

Os principais objetivos específicos da dissertação são:

De acordo com a Norma NP ISO 2631-1:2007:

- ◇ Determinar a exposição diária a vibrações no posto de trabalho A(8) e o valor de dose de vibração a que os trabalhadores estão expostos;
- ◇ Realizar a comparação dos valores obtidos com a legislação europeia vigente;
- ◇ Verificar quais os efeitos da exposição da vibração: na saúde, no enjoo e no conforto para o desempenho do trabalhador exposto;

De acordo com a Norma ISO 2631-5:2018:

- ◇ Verificar qual a probabilidade de dano à saúde do trabalhador;
- ◇ Determinar qual o percentual de risco de lesão ao trabalhador em relação ao fator de risco;

Analisar, através das frequências de vibração dos equipamentos utilizados nas atividades dos manobreadores, quais são os possíveis efeitos na saúde dessa exposição as frequências das vibrações em relação ao fenómeno da ressonância.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Equipamentos

A amostragem foi desenvolvida por uma equipe da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, e cedida para o desenvolvimento desta dissertação para a análise dos postos de trabalho. Os dados dos equipamento onde foram feitas as medições, constam da Tabela 4, com descrição dos equipamentos: *Dumper*, Carro de perfuração e Pá Giratória.

Tabela 4 - Características do equipamentos

| Posto de Trabalho | Marcar | Modelo | Ano de fabrico | Ano de entrada na empresa | Estado do equipamento |
|---------------------|-------------|----------|----------------|---------------------------|-----------------------|
| <i>Dumper</i> | Terex | TR 45 | 2005 | 2005 | Bom |
| Carro de perfuração | Caterpillar | Carro D7 | 2007 | 2007 | Bom |
| Pá Giratória | Atlas Copco | 374 D | 2011 | 2011 | Bom |

Fonte: Adaptada de (Bernardo, 2013)

Para realização da amostragem no ambiente laboral da Pedreira, utilizou-se os constituintes do equipamento Vibrômetro da marca Svantek, modelo SV 106 Human Vibration e o Acelerómetro de assento SV 38, conforme indicado na Figura 8.



Figura 8 - Equipamento SV 106 Human Vibration e SV 38 acelerómetro de assento para o corpo todo. Fonte: Manual do equipamento.

O analisador e medidor de vibração humana SV 106 atende aos requisitos solicitados pelas normas ISO 8041-1: 2017 estando de acordo com a ISO 2631-1, 2 e 5, ISO 5349 e a diretiva 2002/44 / EC do Parlamento Europeu para medições a nível laboral.

Os resultados são obtidos através de telas gráficas ou Tabelas de dados do equipamento, demonstrado, utilizando-se filtros de ponderação que são necessários para medições das vibrações no corpo humano. O equipamento SV 106 pode executar análises em tempo real de 1/1 ou 1/3 de oitava simultaneamente ao modo medidor. A medição da vibração em todo o corpo é feita pelo acelerómetro SV 38V, que pode ser colocado diretamente na base do assento dos condutores e ou motoristas, no chão ou fixado na parte traseira do assento. Na Tabela 5, são apresentadas as especificações técnicas do equipamento utilizado.

Tabela 5 - Características do equipamento de medição

| | |
|------------------------|--|
| Standards | ISO 8041-1:2017, ISO 2631-1,2&5, ISO 5349, Directive 2002/44/EC |
| Meter Mode | RMS, VDV, MTVV or Max, Peak, Peak-Peak, Vector, A(8), Dose, ELV, EAV |
| Filters in Profile (1) | Wd, Wk, Wm, Wb, Wc, Wj, Wg, We, Wf (ISO 2631), Wh (ISO 5349) |
| Time constants | from 100 ms to 10 s |
| Frequency Range | 0.1 Hz ÷ 2 kHz (transducer dependent) |
| Time-Domain Recording | Simultaneous x, y, z time-domain signal recording, sampling frequency 6 kHz |
| Analyser | 1/1 octave real-time analysis with centre frequencies from 0.5 Hz to 2000 Hz |
| | 1/3 octave real-time analysis with centre frequencies from 0.4 Hz to 2500 Hz |
| Accelerometer (option) | SV 38V low cost and low power triaxial accelerometer for Whole-Body measurements |

Fonte: Manual do equipamento¹

¹ Svantek PC++. (2020). Svantek. Recuperado 5 de março de 2020, de <https://www.svantek.com> website: <https://www.svantek.com>.

3.2 Dados da 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*: Para esse Posto de trabalho foram realizados 3 ciclos de trabalho distintos identificados como: Log 22, Log 23 e Log 25.
- Carro de perfuração: Para esse Posto de trabalho foram realizados 2 ciclos de trabalho distintos identificados como: Log 21 e Log 24.
- Pá Giratória: Para esse Posto de trabalho foram realizados 4 ciclos de trabalho distintos identificados como: Log 26, Log 27, Log 33 e Log 34.

Todos os trabalhadores em estudo têm uma exposição diária a vibrações, com um horário laboral de 8 horas diárias, dividido por uma hora de pausa para almoço.

A caracterização dos condutores que serão utilizadas na amostragem, encontra-se descrita Tabela 6, que contem 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 6 - 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 |

Fonte: Autor,2020.

A medição das vibrações seguiu os critérios estabelecidos no Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de fevereiro (prescrições mínimas de proteção da saúde e segurança dos trabalhadores em caso de exposição aos riscos devido a vibrações). Para além disso utilizou a NP ISO 2631-1:2007 'Vibrações mecânicas e choque. Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1;

3.3 Análises dos dados

As análises foram realizadas repassando os dados do equipamento Svantek para um software SVAN PC++, fornecido pelo fabricante em (Svantek PC++, 2020) e tratados em planilhas do excel. Foram utilizados os dados de frequências de vibração, $aw_{x,y,z}$ e valores de picos.

De acordo com o (DL n.º 46/2006, 2006) com os valores obtidos faz-se a ponderação com os valores de k (ponderação da frequência) nos eixos x, y e z, multiplicando pelas suas ponderações que equivalem respetivamente a 1,4; 1,4 e 1,0 para os efeitos das vibrações no Critério de saúde.

Para os efeitos da vibração no Critério de conforto utiliza-se fatores de correção k (ponderação em frequência) nos eixos x , y e z , multiplicando pelas suas ponderações que equivalem respectivamente a 1,0; 1,0 e 1,0. Para determinação da aceleração eficaz ponderada em frequência, conforme Fórmula 1 temos:

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

(Fórmula 1)

Onde, $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em função do tempo; T é a duração da medição. O valor de exposição para o posto de trabalho $A(8)_{PT}$ quando se inclui múltiplas tarefas, devem ser calculados através da Fórmula 2, expressos em m/s^2 .

$$A(8)_{PT} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^n a_w^2 \cdot T_i}$$

(Fórmula 2)

Onde, a_w é o valor total da vibração para a tarefa i ; n é o número de exposições parciais da vibrações; T_i é o tempo de duração da tarefa e T_0 é o tempo total a que o manobreador está exposto.

Os valores estimados de dose de vibração com risco para a saúde, foram determinados de acordo com a Fórmula 3, expressos em $m/s^{1,75}$.

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}}$$

(Fórmula 3)

Onde, a_w é o valor total da vibração para a tarefa i ; em função do tempo (t) é o tempo de duração da medição. Os valores de VDV_{total} foram determinados através da Fórmula 4, expressos em $m/s^{1,75}$.

$$VDV_{total} = \left(\sum VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

(Fórmula 4)

Onde, VDV_i é o valor de dose de vibração. No critério do enjoo, tem-se que poderá ser calculado por dois métodos, conforme anexo D da norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007), o método para determinação do calculo do $MSDV_z$ aqui utilizado será através da raiz quadrada da aceleração em z (a_{wz}), através da fórmula Fórmula 5:

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

(Fórmula 5)

Onde, $aw(t)$ é a aceleração segundo a direção z; T é p período total em segundos, durante o qual o movimento pode ocorrer; MSDVz é o valor da dose de enjoo ao movimento; Havendo ainda um percentual de pessoas que podem vomitar que é aproximadamente de $K_m \times MSDV_z$, onde K_m é uma constante que é igual a 1/3. Essa exposição ao movimento entre cerca de 20 minutos até 6 horas, com prevalência de vomitar que pode ser de cerca de 70%.

Para a determinação da resposta espinhal do manobrador, calculou-se o valor de D_z - dose de aceleração, a partir da Fórmula 6:

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

(Fórmula 6)

Onde, A_z é o i-ésimo pico da aceleração de resposta; 1,07 representa o fator de resposta da amplitude da coluna vertebral. Para o cálculo da determinação da dose diária D_{zd} , expressa por m/s^2 , foi utilizada a Fórmula 7.

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

(Fórmula 7)

Onde, D_{zd} é a dose de aceleração para a exposição diária total para a condição j; $t_{d,j}$ representa a exposição diária a condição e $t_{m,j}$ a duração em que $D_{z,j}$ foi medido. (Para comparar exposições diferentes, usar t_d igual a 8h de exposição). Os valores de m_z são calculados com a representação da massa carregada acima da pelve dividida pela área da placa terminal da coluna, de acordo com a Fórmula 8. Segundo a (ISO 2631-5:2018, 2018), pode-se considerar a massa corporal de 49% para homens.

$$m_z = \frac{\text{peso} \times 0,49}{14cm^2}$$

(Fórmula 8)

O Anexo C da norma recomenda que, após o cálculo do D_z e do D_{zd} , se devem calcular os valores de S_d . Os valores de S_d são calculados a partir da multiplicação do parâmetro D_{zd} pelo peso do trabalhador Fórmula 9.

$$S_d = m_z \times D_{zd}$$

(Fórmula 9)

Onde, S_d é a dose diária de compressão; m_z é a conversão entre a aceleração e estresse compressivo no corpo vertebral na postura sentada.

O risco de lesão é uma função da variável de estresse R. Essa variável pode ser descrita para uma avaliação dos efeitos adversos à saúde relacionados com a dose de aceleração da resposta humana. Para calcular-se R, tem-se que relacionar o aumento da idade à medida que o tempo de exposição aumenta como mostrado na Fórmula 10:

$$R = \left[\sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{Sd_{a,j} N i^{\frac{1}{6}}}{Su,i - Sstat,i} \right)^6 \right]^{\frac{1}{6}}$$

(Fórmula 10)

Onde, N é o número de dias de exposição por ano; i é o contador do ano; n é o número de anos de exposição e Sd a dose diária de compressão relacionada ao ano i; S_{stat,i} é uma constante que representa o estresse estático devido a força gravitacional que depende da massa corporal do ano i; Os percentuais para R, podem ser encontrados conforme Figura 9, variando entre 10% a 90%.

Table C.2 — R values for risk of injury

| | R value (lower 95 %, upper 95 % confidence intervals) | | |
|---------------------|---|-------------------|-------------------|
| | Risk of injury | | |
| | 10 % | 50 % | 90 % |
| Male | 0,72 (0,58; 0,89) | 1,42 (1,27; 1,57) | 2,17 (1,91; 2,48) |
| Female ^a | 0,52 (0,41; 0,67) | 0,87 (0,77; 0,98) | 1,20 (1,04; 1,38) |

^a Values for female subjects are based on a smaller data set.

Figura 9 -Percentual de valores para risco de lesão

Su é a força da coluna lombar para uma pessoa de idade (b+1) anos , sendo b a idade em que a exposição começou. O valor de Sstat é calculado como mostrado na Fórmula 11:

$$Sstat,i = \frac{0,029 MPa}{m/s^2} \times \frac{9,81 m}{s^2} = 0,281MPa$$

(Fórmula 11)

O valor de Su,i varia com a força da vértebra, que deve ser reduzida com a idade. Logo, Su é calculado pela Fórmula 12:

$$Su = 6,75MPa - Sage(b + i)$$

(Fórmula 12)

Onde, o valor de Sage para o sexo masculino é igual a 0,059Mpa; b é o número de anos de exposição e i é o contador de anos de exposição.

A probabilidade de danos na coluna lombar (π) da carga axial é calculado usando os valores de R, e os coeficientes que podem variar de acordo com o gênero, conforme Figura 9 e Fórmula 13.

Table C.1 — Coefficients for Formula (C.5) (lower 95 %, upper 95 % confidence intervals)

| | α | β |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| Male | 1,613 (1,460; 1,809) | 2,799 (2,168; 3,511) |
| Female ^a | 0,959 (0,854; 1,093) | 3,709 (2,509; 5,207) |

^a Values for female subjects are based on a smaller data set.

Figura 10 - Coeficiente de gênero

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

(Fórmula 13)

Onde, α e β são coeficientes dependentes do gênero.

PARTE 2

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os resultados aqui apresentados, foram utilizadas medições em frequências de vibração cuja recolha foi feita por uma equipe multidisciplinar da FEUP, sendo os dados que aqui serão tratados e trabalhados, da inteira responsabilidade dos mesmos. As medições foram realizadas nos postos de trabalho: *Dumper*, Carro de perfuração e Pá Giratória.

4.1 Critérios de exposição do corpo inteiro à vibrações conforme a norma NP ISO 2631-1:2007

4.1.1 Critério de Saúde (Anexo B da Norma)

Segundo a Norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007), no que diz respeito aos critérios para a saúde, considerar-se-á os trabalhadores sentados. Para este estudo, serão utilizadas as vibrações de corpo inteiro nas gamas de frequências entre 0,4 aos 80 Hz. Para as avaliações do efeito da vibração na saúde, foram realizadas ponderações em frequências com ponderações no eixo x de 1,4, no eixo y de 1,4 e no eixo z de 1,0, conforme Apêndice A onde foram utilizadas os maiores valores em frequências após ponderação das a_w 's.

Para a determinação do valor de A(8) no posto de trabalho, foram analisados 3 ciclos de trabalho para o *Dumper*, 2 ciclos de trabalho para o Carro de perfuração e 4 ciclos de trabalho para a Pá Giratória, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Dados para determinação do A(8) no posto de trabalho

| Posto de trabalho | Amostra | Eixo predominante | tempo de medição | a_w |
|---------------------|---------|-------------------|------------------|--------|
| <i>Dumper</i> | Log 22 | zz | 4629 | 0,7312 |
| | Log 23 | zz | 3491 | 0,8195 |
| | Log 25 | zz | 7022 | 0,8214 |
| Carro de perfuração | Log 21 | yy | 6467 | 0,1092 |
| | Log 24 | yy | 8633 | 0,1848 |
| Pá Giratória | Log 26 | yy | 7280 | 0,7749 |
| | Log 27 | yy | 9452 | 0,8058 |
| | Log 33 | xx | 6526 | 0,6763 |
| | Log 34 | xx | 10800 | 0,5714 |

No critério de saúde a Directiva Europeia (EU Directiva 2002/44, 2002), estabelece valores de ação e de limites de exposição aos quais os trabalhadores podem estar expostos ao longo do dia em suas atividades, assim como estabelece valores de doses de vibração. Os valores encontrados para o A(8) no *Dumper* e na Pá Giratória encontram-se acima dos valores de ação, dentro dos limites de exposição estabelecidos pela directiva, já os valores do Carro de perfuração estão dentro

dos limites estabelecidos. Para os valores de dose de vibração que são aqueles que representam os choques ou solavancos que ocorrem durante o dia de trabalho, podendo afetar a saúde do trabalhador, no posto de trabalho *Dumper* e a *Pá Giratória* também estão acima dos limites de ação e dentro do valor aceitável de exposição. A descrição desses valores podem ser encontrados Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo do A(8) com o Diretiva Europeia N°44, 2002.

| Posto de Trabalho | Valores encontrados | | Valores Limites | | | |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| | A(8) (m/s ²) | VDV (m/s ^{1,75}) | A(8) Acção | VDV de Acção | A(8) Exposição | VDV de Exposição |
| <i>Dumper</i> | 0,5761 | 12,37 | 0,5 m/s ² | 9,1 m/s ^{1,75} | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} |
| Carro de perfuração | 0,1136 | 2,56 | | | | |
| Pá Giratória | 0,7687 | 13,96 | | | | |

O DL 46/2006 estabelece os valores de acção e limite de exposição às vibrações do corpo inteiro que podem variar de acordo com o exposto Tabela 9. Os valores encontrados para os motoristas do *Dumper* e da *Pá Giratória* estão acima dos valores de ação, e dentro dos limites de exposição (DL n.º 46/2006, 2006).

Tabela 9 – Comparativo do A(8) com o Decreto Lei N°46/2006.

| Posto de Trabalho | Valores encontrados | | Valores | |
|---------------------|--|----------------------|---------|------------------|
| | A(8) posto de trabalho (m/s ²) | Acção | limite | Exposição |
| <i>Dumper</i> | 0,5761 | 0,5 m/s ² | 1,15 | m/s ² |
| Carro de perfuração | 0,1136 | | | |
| Pá Giratória | 0,7687 | | | |

O Gráfico 1 a e 1b, mostram a tendência dos valores de A(8) e VDV por posto de trabalho. Pode-se observar que os valores apresentam-se mais elevados na *Pá Giratória* para os parâmetros A(8) e para valores de VDV os maiores valores estão no *Dumper*. (Barrero et al., 2019), obteve valores para veículos pesados como o *Dumper*, usado na mineração variando entre valores de A(8) de 0,64 m/s² e valores de VDV de 10,19 m/s^{1,75}, demonstrando que para esses veículos pesados os valores de vibração podem variar acima dos valores limites de acção e dentro dos valores limite de exposição.

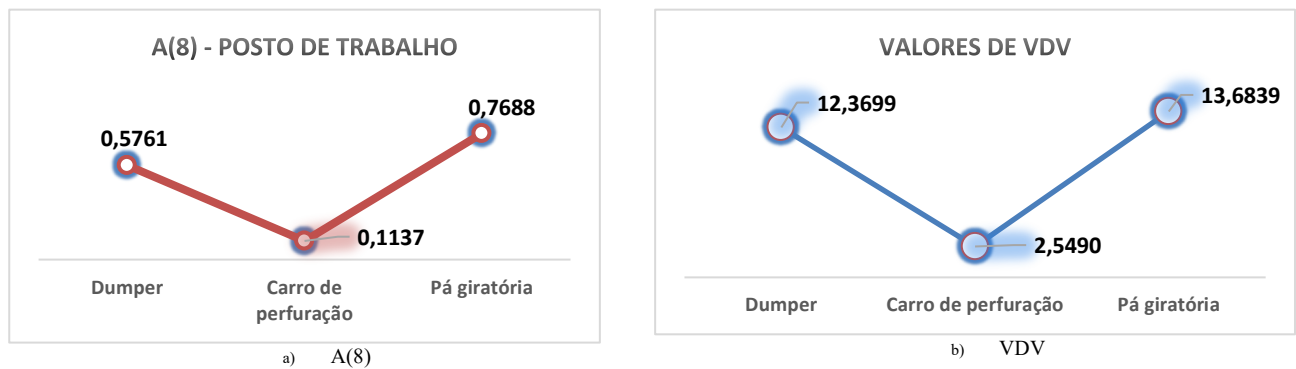


Gráfico 1 – Valores de A(8) e de VDV

Os valores das doses de vibração diária (eVDV) por posto de trabalho e o respectivo valor máximo de vibração transiente (MTVV), estão relacionados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de Dose de vibração e valores máximos de vibração transientes

| Posto de trabalho | Amostra | a_w | VDV ($m/s^{1,75}$) | MTVV (m/s^2) |
|----------------------------|---------|--------|----------------------|------------------|
| <i>Dumper</i> | Log 22 | 0,7312 | 8,44 | 1,09 |
| | Log 23 | 0,8195 | 8,82 | 3,13 |
| | Log 25 | 0,8214 | 10,53 | 3,80 |
| Carro de perfuração | Log 21 | 0,1092 | 1,37 | 1,51 |
| | Log 24 | 0,1848 | 2,49 | 3,98 |
| Pá Giratória | Log 26 | 0,7749 | 10,02 | 2,79 |
| | Log 27 | 0,8058 | 11,12 | 3,93 |
| | Log 33 | 0,6763 | 8,51 | 3,63 |
| | Log 34 | 0,5714 | 8,15 | 3,35 |

Em sua pesquisa (Barrero et al., 2019), ao analisar condutores de *Dumper* em minas, observou que os mesmos, estavam expostos a VDV diários variando entre 6,0 a $7,2m/s^{1,75}$. Os valores de MTVV representam os valores máximos da vibração transientes que podem significar choques de curta duração onde seus valores podem estar compreendidos entre $1,51 m/s^2$ a $3,98m/s^2$. O percentual de atingimento da vibração em termos de A(8) nos postos de trabalho analisados equivalem respectivamente a 53% na Pá Giratória, 39% no *Dumper* e 8,0% no Carro de perfuração.

4.1.2 Conforto e Percepção (Anexo C da Norma)

Serão estudados os resultados com base na Norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007), no que diz respeito aos critérios para conforto e percepção, de pessoas saudáveis, para pessoas sentadas. Foram relevantes para este estudo as vibrações de corpo inteiro nas gamas de frequências entre 0,5 Hz e 80 Hz. As ponderações em frequências usadas no conforto são W_d e W_k .

Nas avaliações do efeito da vibração no Conforto, foram realizadas as ponderações em frequências, onde foram utilizadas as maiores frequências por eixo com ponderação de: eixo x (k=1,0), eixo y (k=1,0) e eixo z (k=1,0). Para a determinação das reações ao conforto, foram tomadas as variáveis: $a_{w,e}$ ponderadas, tempo de medição e VDV, de acordo com a Tabela 11 - Dados para determinação das reações ao conforto, a susceptibilidade ao conforto do motorista depende diretamente desses fatores.

Tabela 11 - Dados para determinação das reações ao conforto

| Posto de trabalho | Amostra | $a_{w,e}$ | Conforto |
|---------------------|---------|-----------|------------------------------|
| Dumper | Log 22 | 0,7312 | Razoavelmente desconfortável |
| | Log 23 | 0,8195 | Desconfortável |
| | Log 25 | 0,8214 | Desconfortável |
| Carro | Log 21 | 0,1092 | Não é desconfortável |
| | Log 24 | 0,1848 | Não é desconfortável |
| Pá Giratória | Log 26 | 0,7749 | Razoavelmente desconfortável |
| | Log 27 | 0,8058 | Desconfortável |
| | Log 33 | 0,6763 | Razoavelmente desconfortável |
| | Log 34 | 0,5714 | Razoavelmente desconfortável |

Observando-se os resultados, temos que no *Dumper* o desconforto é maior em relação aos outros postos de trabalho avaliados, apresentando característica que variam de razoavelmente desconfortável a desconfortável. Em relação ao Carro de perfuração, tem-se a reação que o equipamento em relação ao conforto não produz desconforto, em relação à Pá Giratória a percepção ao conforto varia entre um pouco desconfortável a razoavelmente desconfortável. Essas características podem ser observados no Gráfico 2.

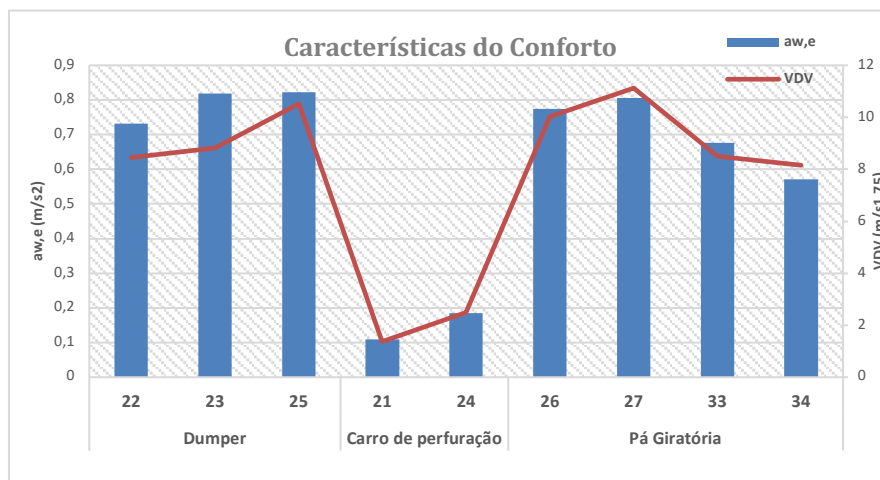


Gráfico 2 – Característica do conforto

4.1.3 Incidência do enjoo ao movimento (Anexo D da Norma)

A norma (NP ISO 2631-1:2007, 2007), observa que este critério é aplicado principalmente ao movimento em navios e noutras embarcações, porém não inviabiliza sua aplicação a outras atividades, e de forma a tornar mais completo o entendimento dessa norma, aplicou-se também a esse efeito a saúde dos manobreadores. Como demonstrado na Tabela 12, o posto de trabalho *Dumper* apresenta as incidências mais altas de ocorrer o enjoo, seguido da Pá Giratória com incidência média e com baixa incidência temos o Carro de perfuração.

Tabela 12 – Variáveis para determinação do Enjoo ao movimento

| Posto de Trabalho | | Awz (m/s ²) | MSDVz (m/s ^{1,5})* | % de vomitar | Enjoo ao movimento ² |
|-------------------|--------|-------------------------|------------------------------|--------------|---------------------------------|
| <i>Dumper</i> | Log 22 | 0,7312 | 2,98 | | |
| | Log 23 | 0,8195 | 3,20 | 100% | Alta incidência |
| | Log 25 | 0,8214 | 3,59 | | |
| Carro | Log 21 | 0,088 | 0,47 | | |
| | Log 24 | 0,1477 | 0,83 | 22% | Baixa incidência |
| | Log 26 | 0,3373 | 1,48 | | |
| Pá Giratória | Log 27 | 0,3833 | 1,76 | | |
| | Log 33 | 0,4612 | 1,99 | 61% | Média incidência |
| | Log 34 | 0,4486 | 2,11 | | |

Pode-se observar no Gráfico 3, que a característica dos valores para o enjoo ao movimento, são definidos da seguinte forma: quanto maior for a aceleração ponderada em frequência no eixo z, maior será a probabilidade de ocorrer o enjoo pelo movimento dos equipamentos pesados com a elevação do MSDZz.

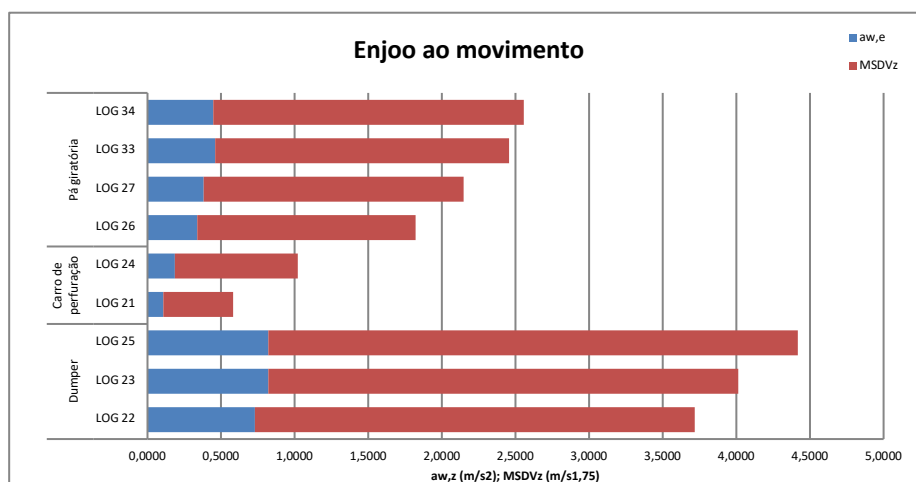


Gráfico 3 – Característica do enjoo

² A determinação deste parâmetro leva em consideração os 70% do enjoo do movimento pelo Anexo D da (NP ISO 2631-1:2007, 2007);

A percentagem (%) do poder de enjojo ao movimento está representada no Gráfico 4, demonstrando-se que no *Dumper* a probabilidade de enjojo ao movimento é de 100%, na Pá giratória é de 61% e no Carro de perfuração de 22%.

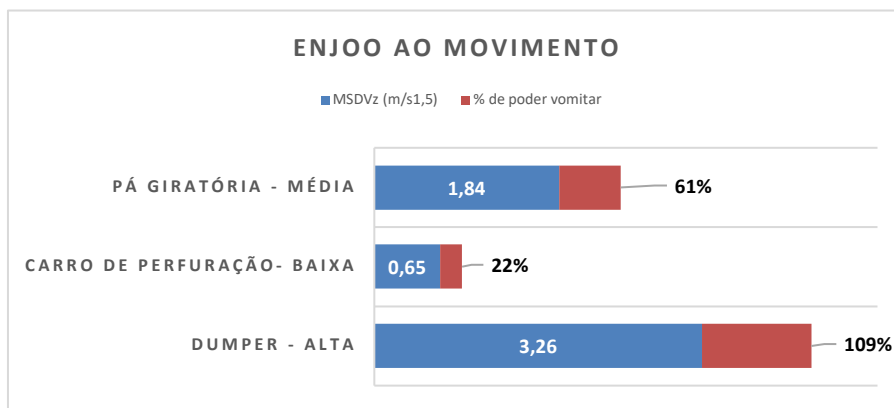


Gráfico 4 – % ao Enjojo no movimento

4.2 Quantificação da vibração do corpo inteiro em relação à saúde humana na postura sentada (ISO 2631-5:2018)

Para a aplicação desta norma, será considerado o regime em condições severas, que são típicas de equipamentos off road. Nas análises serão consideradas apenas o eixo z na superfície dos assentos dos equipamentos *Dumper*, Carro de perfuração e Pá Giratória. Nessas condições aqui apresentadas serão aplicadas os Anexos C e D além da Cláusula 5 da Norma, pois os valores de picos de aceleração obtidos ultrapassam o valor de 9,81m/s².

No cálculo da resposta espinhal que compreendem os valores de Dose de aceleração e Dose diárias aceleração (Dz e Dzd, respectivamente), fora necessário estabelecer as características dos picos de acelerações positivos sem ponderação e o somatório dos maiores picos observados ao longo da medição, a somatória dos maiores valores de picos estão destacados no Gráfico 5. 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 (t_d).

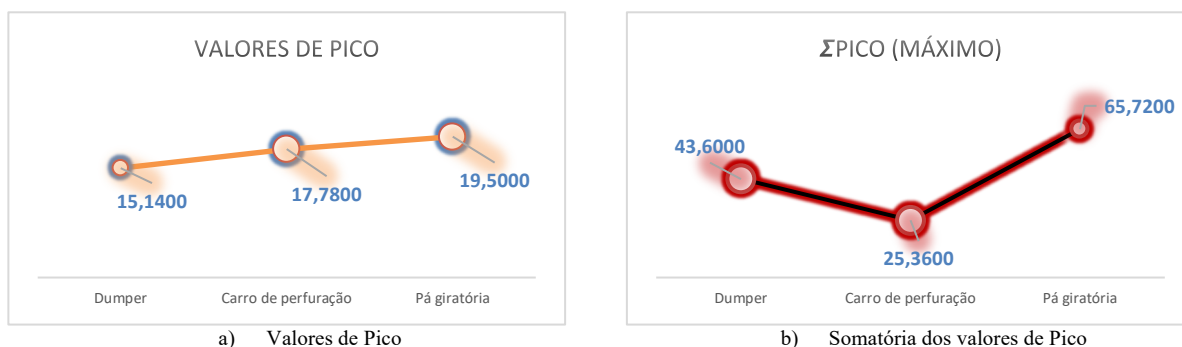


Gráfico 5 – a) Valores máximos de Pico e b) Somatório dos picos máximos

A dose de aceleração para a exposição diária total (Dzd) foi calculada a partir de dois ou mais períodos de magnitudes diferentes, tendo em vista que os dados demonstram que para cada posto de trabalho, foram realizadas no mínimo dois períodos de amostragem distintos.

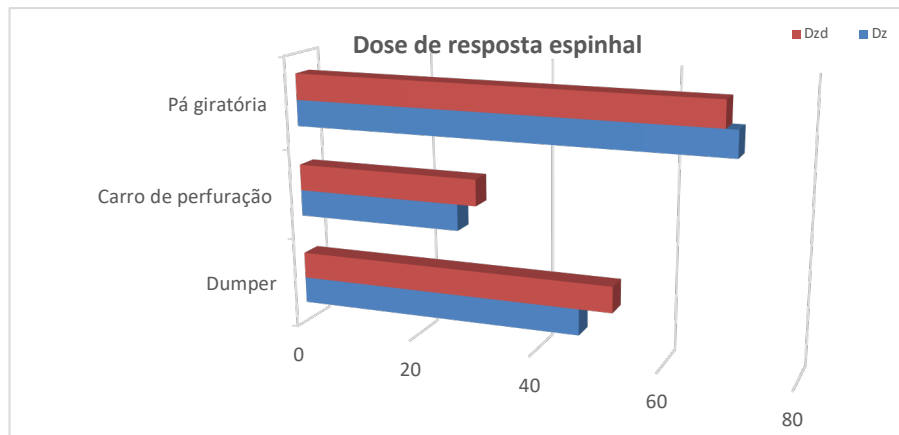


Gráfico 6 - Dose de resposta espinal

Para a determinação da variável D_{zd} foi utilizado o somatório de todos os picos máximos 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 descrito na Tabela 13.

Tabela 13 – Variáveis utilizadas na ISO 2631-5:2018

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

Os resultados de doses de aceleração na coluna espinal, neste estudo, em termos de doses estão descritos no Gráfico 6. Esses valores, podem expressar que os choques múltiplos na coluna, podem contribuir para os processos de perturbações ao longo da coluna vertebral, e os seus efeitos estão diretamente relacionados com os picos de aceleração. Quanto maior a somatória dos picos, maior será o efeito dessa compressão na coluna vertebral.

O valor de S_u no trabalhador do *Dumper* iniciou com o valor de 5,710MPa e ao longo dos anos esse valor 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. No caso da 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. A descrição dos cálculos da redução constam na Tabela 14, podendo ainda serem observados no Gráfico 7.

Tabela 14 - Força máxima da coluna lombar em relação ao tempo de exposição

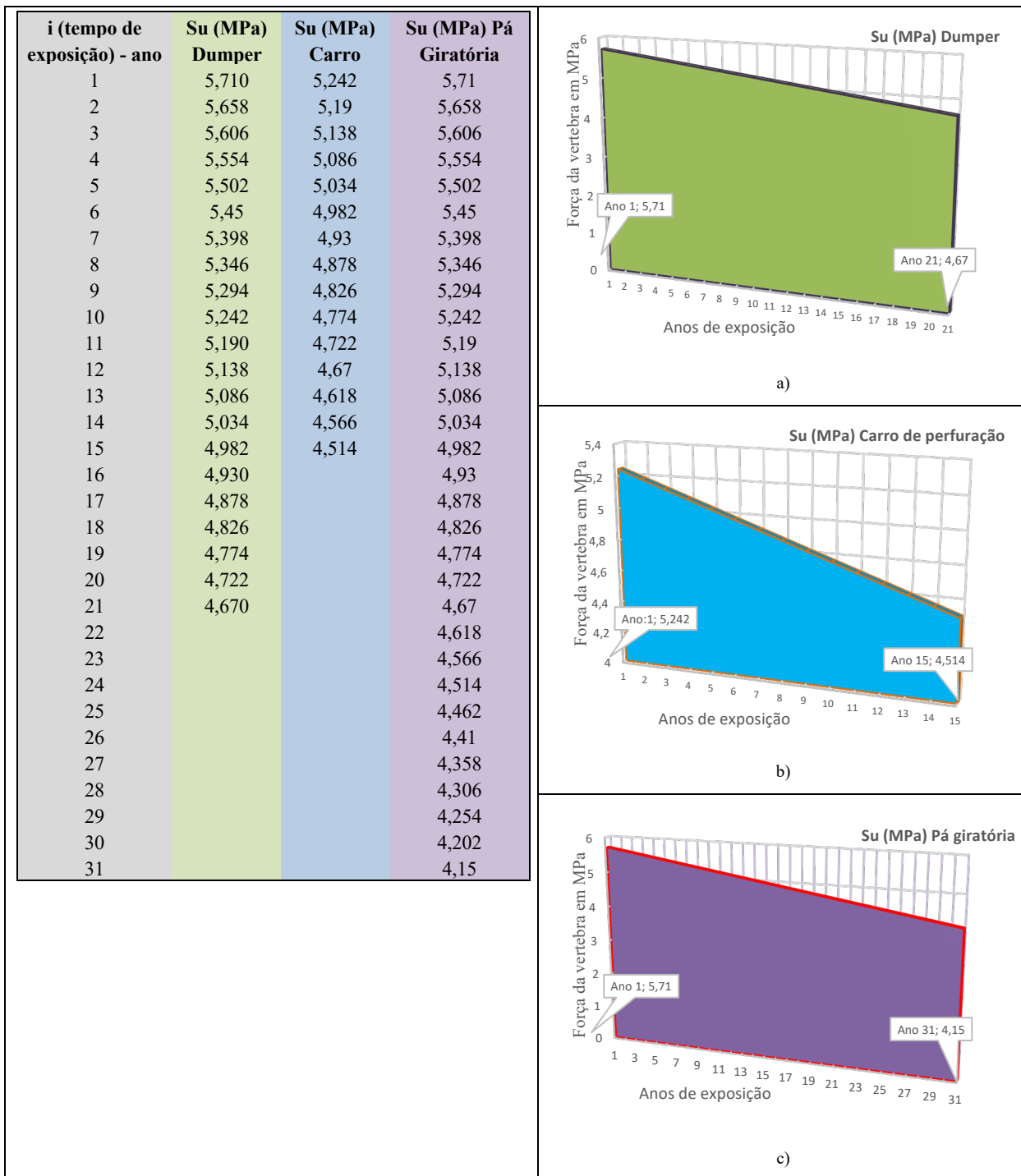


Gráfico 7 - Força máxima da coluna lombar (Su). a)Dumper; b) Carro e c) Pá Giratória

Nos valores que compreendem o risco de lesão na coluna lombar (R), temos para os valores de R, na Pá Giratória apresenta 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 à Tabela C.2 do Anexo C da norma, que apresenta

valores entre 10%, 50% e 90% de risco. Os valores encontrados, foram interpolados, afim de se obterem valores próximos do percentual real. Esses valores podem ser observados no Gráfico 8.

Em relação a variável probabilidade de dano à coluna lombar (π) no desempenho das suas atividades laborais, os riscos variam de 26,9% para o *Dumper*, 6,11% para o Carro de perfuração e 88,10% para a Pá giratória.

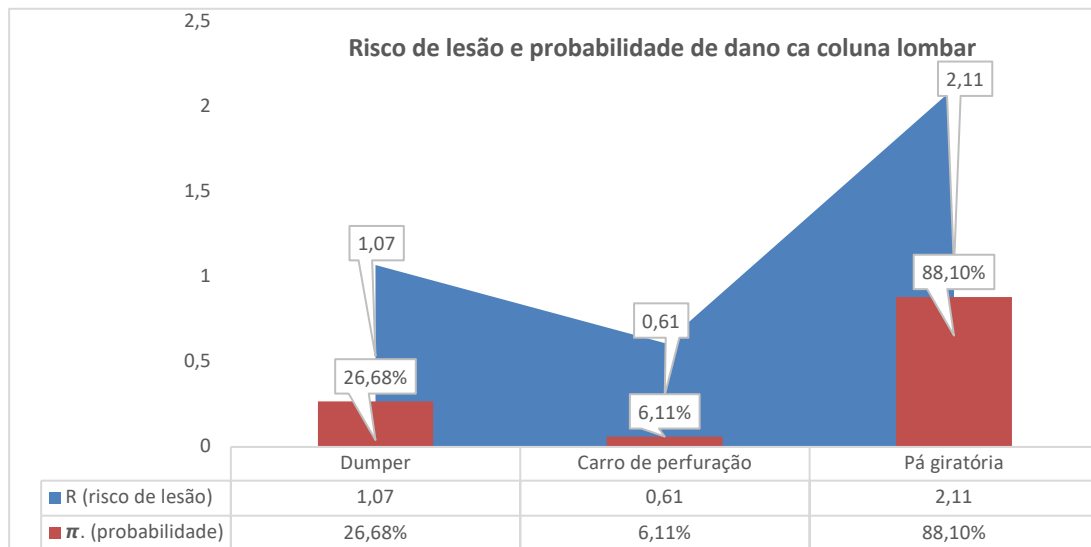


Gráfico 8 - % do Risco e probabilidade de lesão a coluna lombar

As correlações entre as variáveis da norma estão dispostas no Gráfico 9. 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.

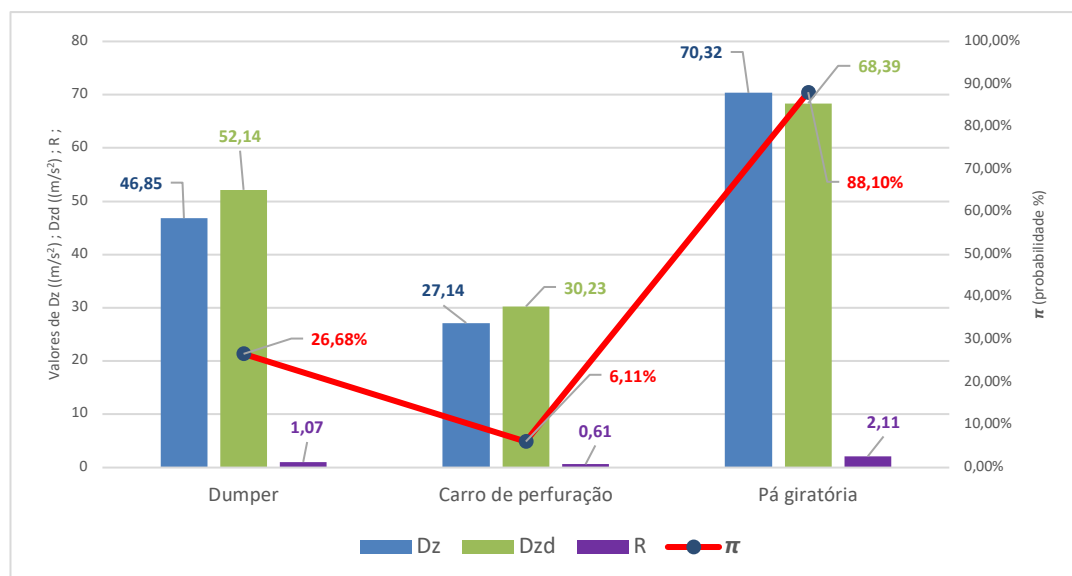


Gráfico 9 - Inter relação entre as variáveis

4.3 Análise em Frequencia de vibração

Para o estudo e análise das frequência de vibração na saúde dos manobreadores, serão demonstrados os valores obtidos do eixo z, uma vez que os valores obtidos são do assento dos veículos. A Tabela 15 apresenta os valores picos das acelerações em RMS (m/s^2) e os Gráficos 10, 11 e 12, apresentam o comportamento das acelerações no eixo z durante toda a medição dos postos de trabalhos, com valores variando entre as frequências de 0,4 aos 80 Hz.

Tabela 15 – Valores de Picos das Frequências de vibração

| Frequências | Eixo z - <i>Dumper</i> | Eixo z – Carro perfuração | Eixo z – Pá Giratória |
|-------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 0.4 Hz | 0,44 | 0,79 | 0,19 |
| 0.5 Hz | 0,51 | 0,06 | 0,16 |
| 0.63 Hz | 0,57 | 0,11 | 0,34 |
| 0.8 Hz | 0,62 | 0,08 | 0,46 |
| 1 Hz | 0,93 | 0,10 | 0,67 |
| 1.25 Hz | 1,16 | 0,18 | 1,24 |
| 1.6 Hz | 1,64 | 0,23 | 1,19 |
| 2 Hz | 2,19 | 0,34 | 1,27 |
| 2.5 Hz | 2,87 | 0,51 | 1,58 |
| 3.15 Hz | 1,04 | 0,64 | 1,19 |
| 4 Hz | 1,16 | 0,82 | 1,23 |
| 5 Hz | 1,07 | 0,78 | 1,33 |
| 6.3 Hz | 1,61 | 0,93 | 1,60 |
| 8 Hz | 1,81 | 0,75 | 1,78 |
| 10 Hz | 1,35 | 1,74 | 1,35 |
| 12.5 Hz | 1,93 | 3,40 | 1,50 |
| 16 Hz | 2,11 | 2,69 | 1,27 |
| 20 Hz | 2,67 | 1,82 | 2,17 |
| 25 Hz | 1,07 | 1,86 | 1,00 |
| 31.5 Hz | 0,58 | 1,00 | 2,36 |
| 40 Hz | 0,42 | 0,73 | 1,58 |
| 50 Hz | 0,25 | 0,42 | 1,06 |
| 63 Hz | 0,32 | 0,39 | 1,15 |
| 80 Hz | 0,32 | 0,39 | 0,55 |

4.3.1 *Dumper*

Observando os valores dos picos de aceleração em (R.M.S), temos que, os valores do *Dumper*, estão compreendidas entre $0,25 m/s^2$ até $2,87 m/s^2$, apresentam maiores risco entre 2 aos 8Hz. Em comparação com a Tabela 1, é possível observar que :

- Para os valores de frequências de vibração entre 0,4 Hz e 1 Hz, as acelerações estão compreendidas entre 0,44 e 0,93 m/s². Esses valores, quando comparados, demonstram que poderão ser capazes de afetar a saúde dos manobreadores em relação ao enjoo ao movimento, podendo ainda reduzir a acuidade visual, além de poder causar perturbações ao nível do sistema nervoso central;
- Para os valores de frequências de vibração entre 1,25 Hz, 1,6 Hz, 3,15 Hz, 4 Hz, 5 Hz, 6,3 Hz, 8 Hz e 10 Hz, apresentam valores de aceleração persistentes acima de 0,8 m/s², apresentando ainda valores entre 1,16 m/s² e 1,35 m/s². Em comparação com a Tabela 5, poderão ocorrer patologias ao nível da coluna espinal e perturbações na visão com uma eventual diminuição da acuidade;
- Para os valores de frequências de vibração entre 12,5 Hz, 16 Hz, 20 Hz e 25 Hz, os valores de aceleração são persistentes apresentando valores acima de 0,7 m/s², podendo ainda apresentar valores entre 1,93 a 2,67 m/s², o que poderia provocar reflexos lentos na atividade laboral que executam além de poderem apresentar alterações com aumento da frequência cardíaca;
- Os valores entre frequências de vibração entre 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz e 80 Hz, apresentam valores abaixo de 0,5 m/s², o que de acordo com a Tabela 5 não representam efeitos na saúde do manobreador.

4.3.2 Carro de perfuração

Observando os valores dos picos de aceleração em (R.M.S), temos que, os valores do Carro de perfuração, estão compreendidas entre 0,06 m/s² até 4,40 m/s², apresentam maiores risco entre 4 aos 16 Hz, em comparação com a Tabela 1, é possível observar que:

- Para os valores de frequências de vibração entre 0,4 Hz e 3,15 Hz, as acelerações estão compreendidas entre 0,06 e 0,79 m/s². Esses valores, quando comparados, demonstram que poderão ser capazes de afetar a saúde dos manobreadores em relação ao enjoo do movimento, podendo ainda reduzir a acuidade visual, além de poder causar perturbações ao nível do sistema nervoso central;
- Para os valores de frequências de vibração entre 4 Hz, 5 Hz, 6,3 Hz, 8 Hz, 10 Hz, 12,5 Hz e 16 Hz apresentam valores de aceleração persistentes entre 0,12 a 0,8 m/s², apresentando ainda valores de pico entre 0,82 m/s² e 3,40 m/s². Em comparação com a Tabela 5, poderão ocorrer patologias ao nível da coluna vertebral, perturbações ao nível de massa abdominal, e perturbações na visão com uma eventual diminuição da acuidade;
- Para os valores de frequências de vibração entre 20 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz e 80 Hz, os valores de aceleração são persistentes entre de 0,05 m/s² e 0,25 m/s² podendo ainda apresentar valores de pico entre 0,39 a 1,86 m/s², o que poderia provocar reflexos lentos na atividade laboral que executam além de poderem apresentar alterações com aumento da frequência cardíaca;

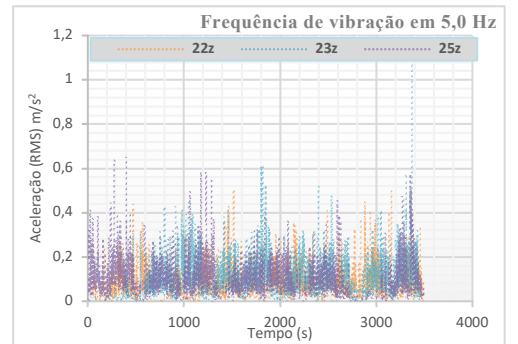
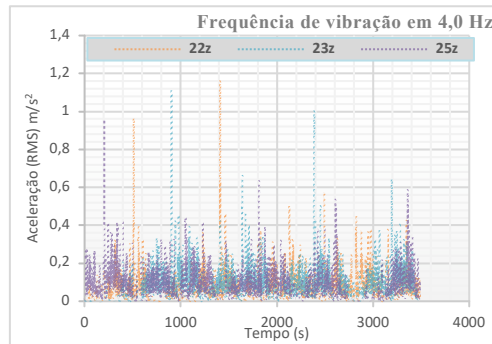
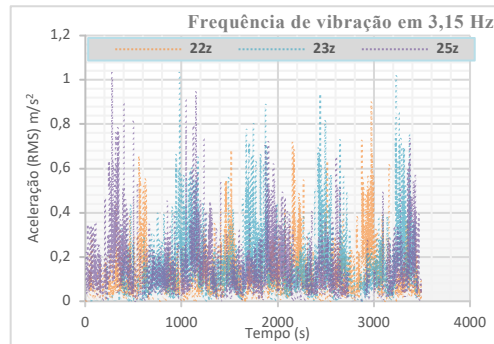
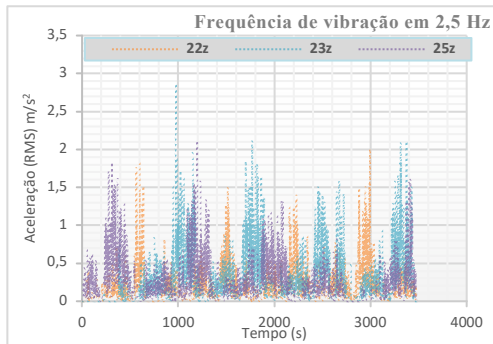
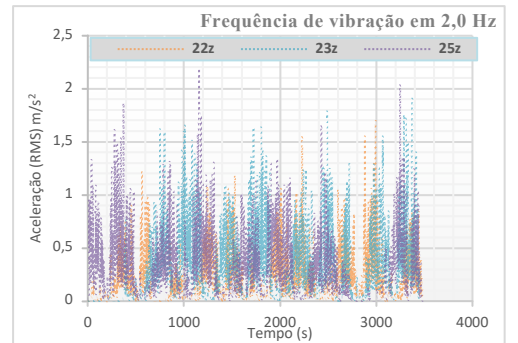
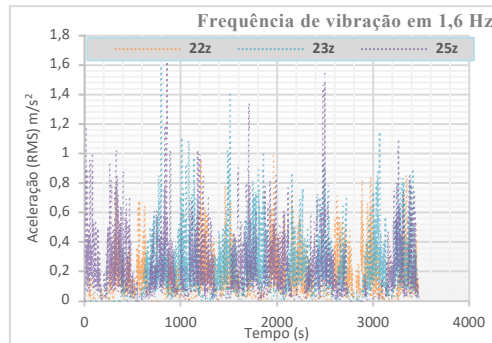
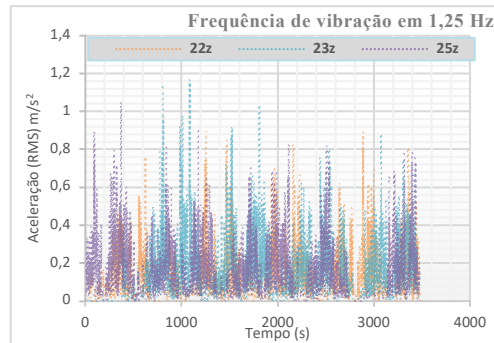
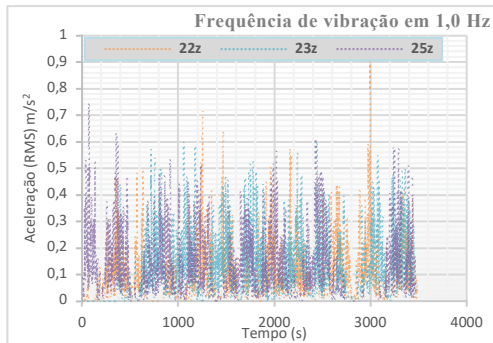
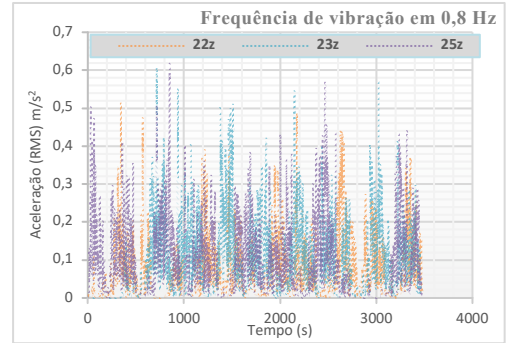
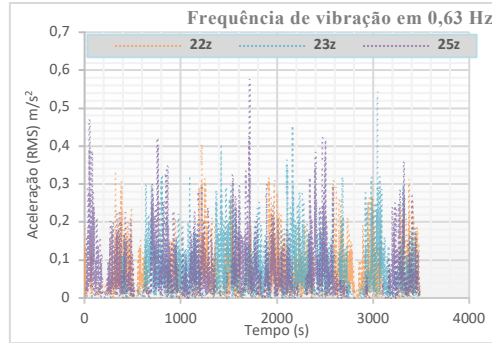
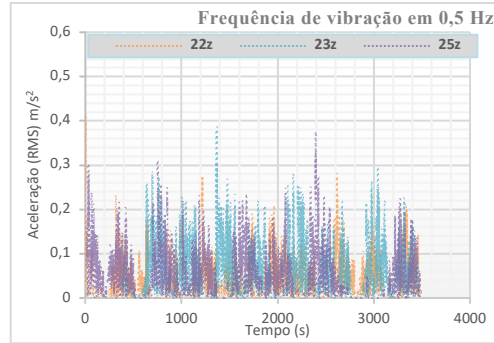
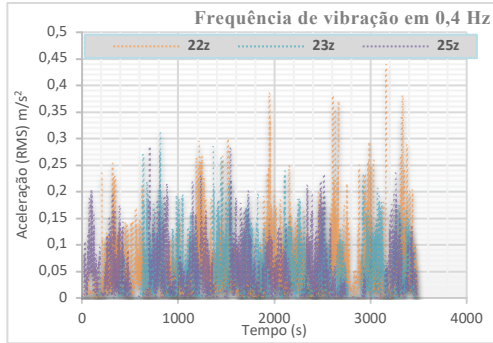
4.3.3 Pá Giratória

Observando os valores dos picos de aceleração em (R.M.S), temos que, os valores da Pá giratória, estão compreendidas entre $0,25 \text{ m/s}^2$ até $2,87 \text{ m/s}^2$, apresentam maiores risco entre 1,25 aos 10Hz, em comparação com a Tabela 1, é possível observar que :

- Para os valores entre 0,4 Hz e 1 Hz, as frequências de vibrações apresentaram valores entre $0,19$ e $0,67 \text{ m/s}^2$. Esses valores, quando comparados aos efeitos da exposição, demonstram que poderão ser capazes de afetar a saúde dos manobreadores em relação ao enjoo ao movimento, podendo ainda reduzir a acuidade visual e causar perturbações a nível do sistema nervoso central;
- Em 1,25 Hz, 1,6 Hz, 3,15 Hz, 4 Hz, 5 Hz, 6,3 Hz, 8 Hz e 10 Hz, apresentam valores entre $1,16 \text{ m/s}^2$ e $1,58 \text{ m/s}^2$. Em comparação, poderão ocorrer patologias ao nível da coluna espinhal e perturbações da visão com diminuição da mesma;
- Em 12,5 Hz, 16 Hz, 20 Hz e 25 Hz, apresentam valores de aceleração em frequência de $1,50$ a $2,67 \text{ m/s}^2$ o que poderia provocar reflexos lentos na atividade laboral que executam, além de poderem também apresentar alterações com aumento da frequência cardíaca;
- Os valores entre 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz e 80 Hz, apresentam valores abaixo de $0,80 \text{ m/s}^2$, o que de acordo com a Tabela 5, não representam efeitos na saúde do manobreador.

Nos gráficos que seguem abaixo, apresentam :

- Para os valores do *Dumper*: possui 03 ciclos de medições com denominações 22 (cor laranja), 23 (cor azul) e 25 (cor roxo) , com as acelerações em RMS (m/s^2) e os tempos de medição T (s);
- Para os valores do Carro de perfuração: possui 02 ciclos de medições com denominações 21 (cor laranja) e 24 (cor azul), com as acelerações em RMS (m/s^2) e os tempos de medição T (s);
- Para os valores do Pá giratória: possui 04 ciclos de medições com denominações 26 (cor laranja), 27 (cor azul), 33 (cor roxa) e 34 (cor vermelha), com as acelerações em RMS (m/s^2) e os tempos de medição T (s);



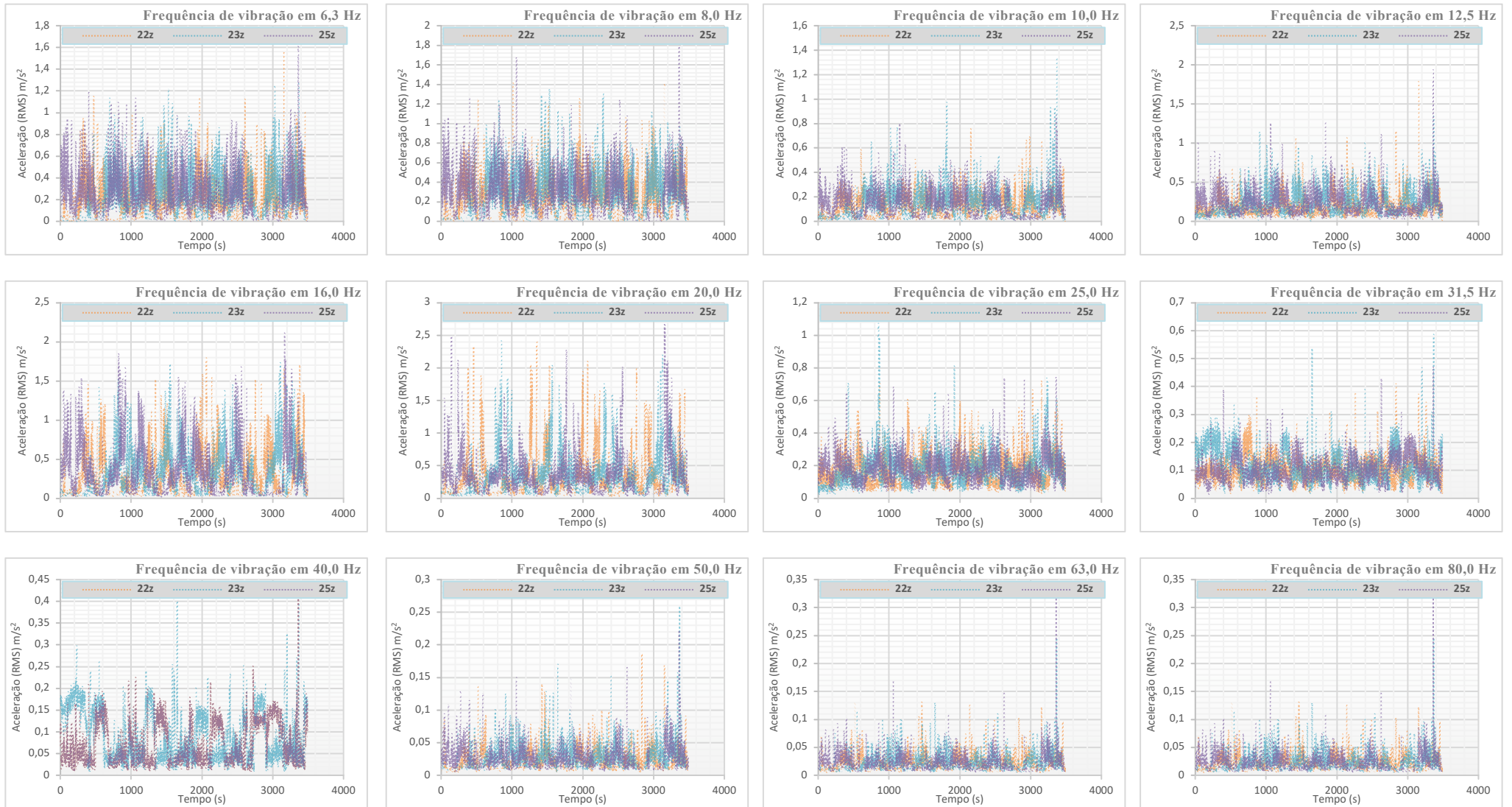
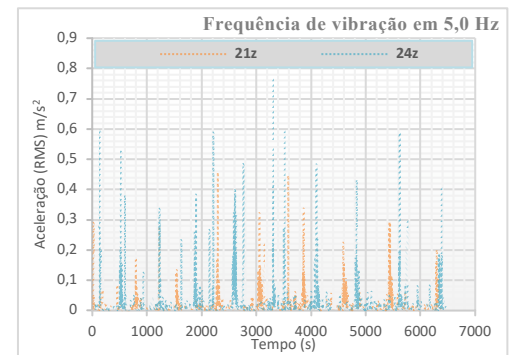
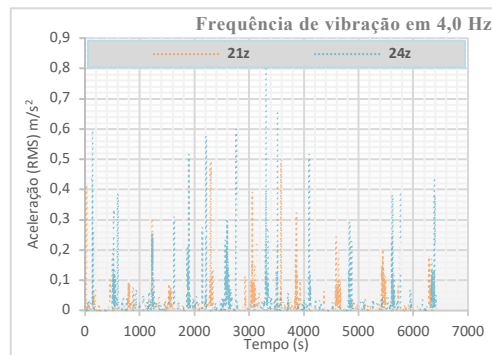
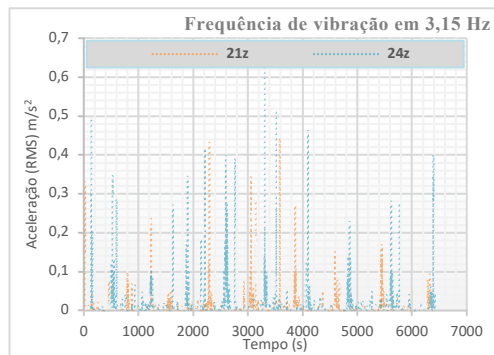
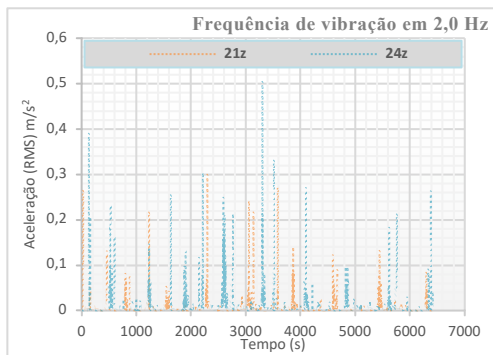
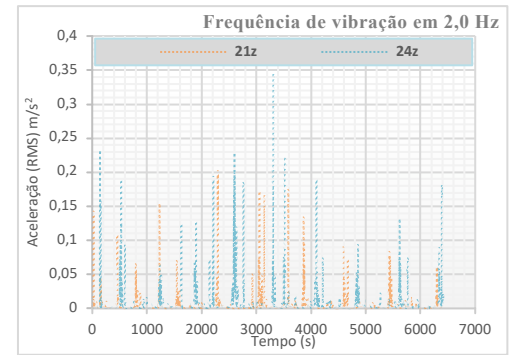
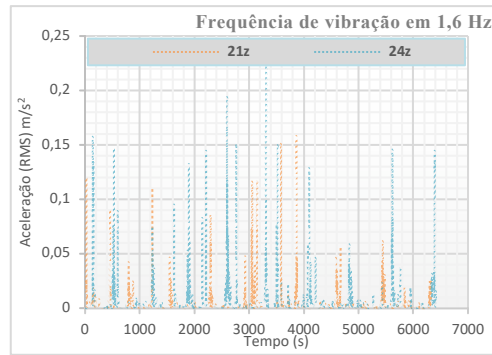
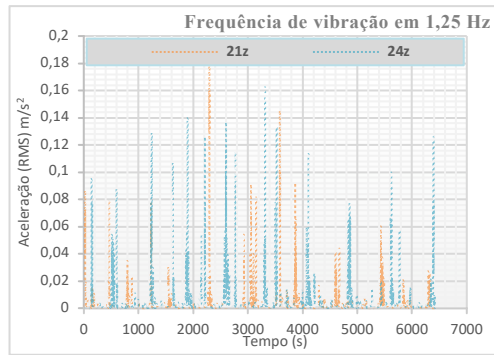
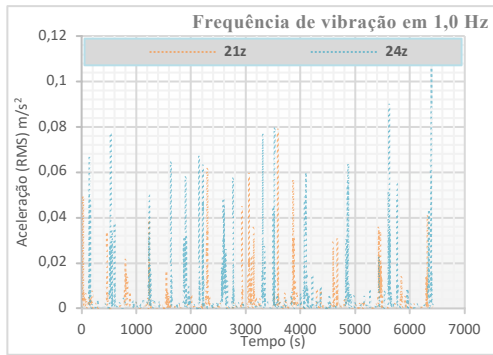
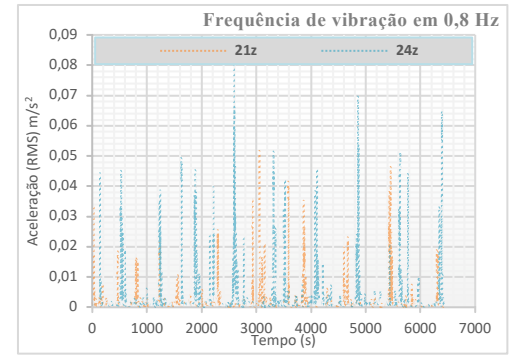
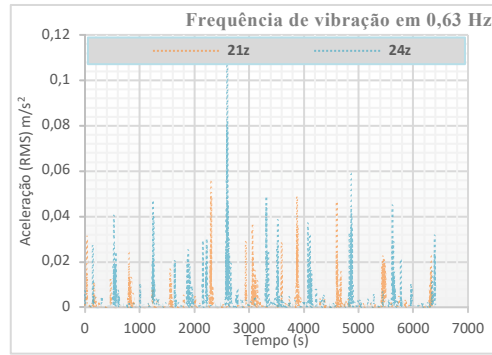
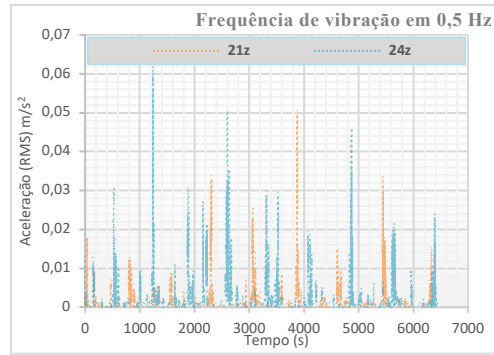
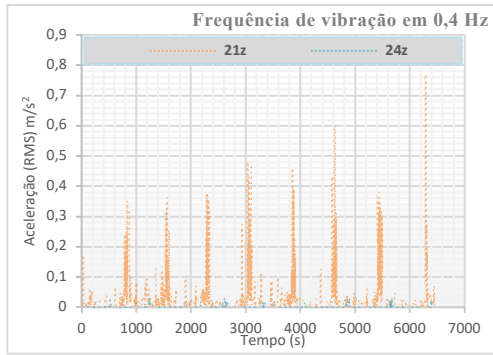


Gráfico 10 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z no Dumper



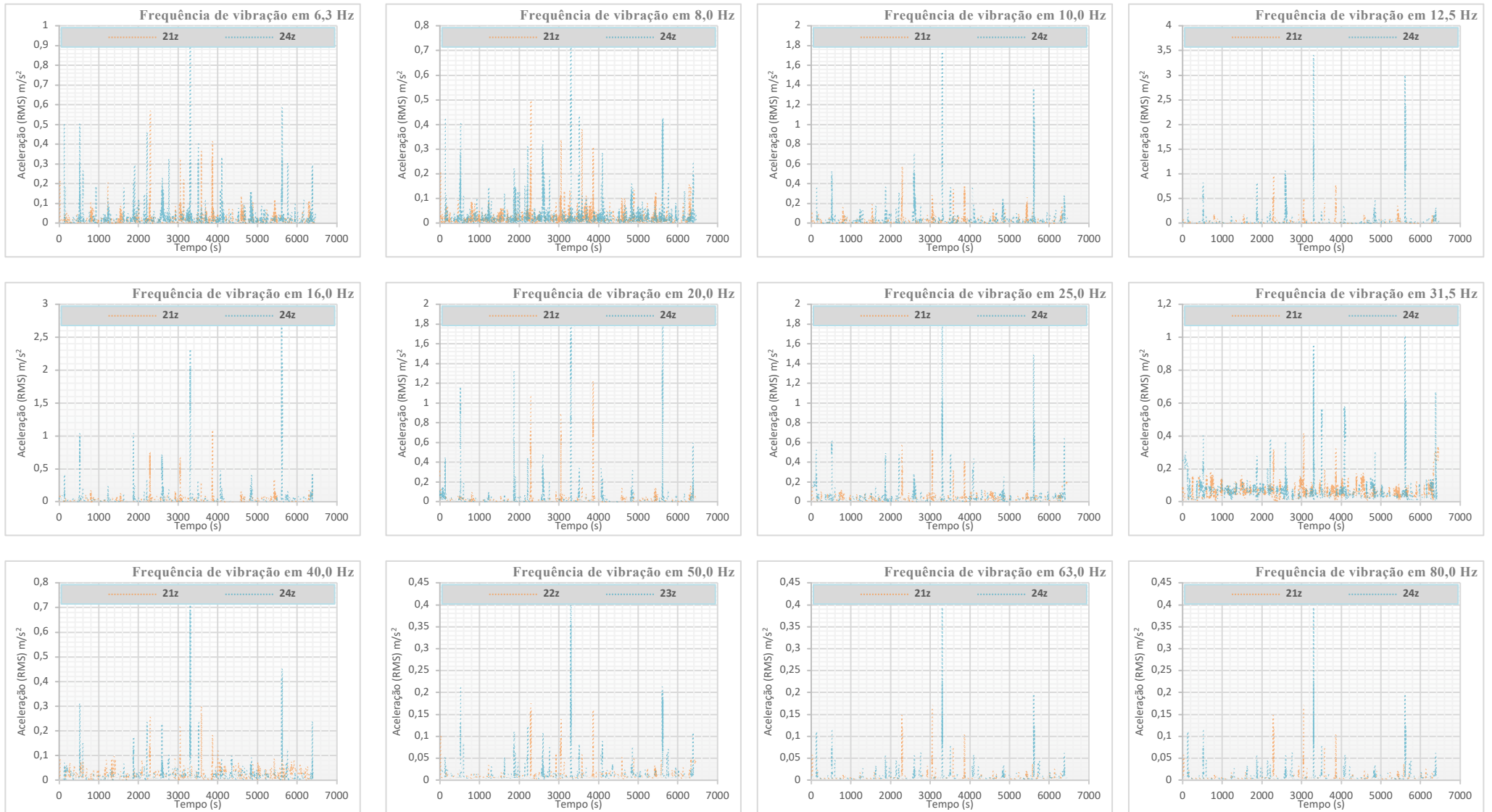


Gráfico 11 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z na Carro de perfuração

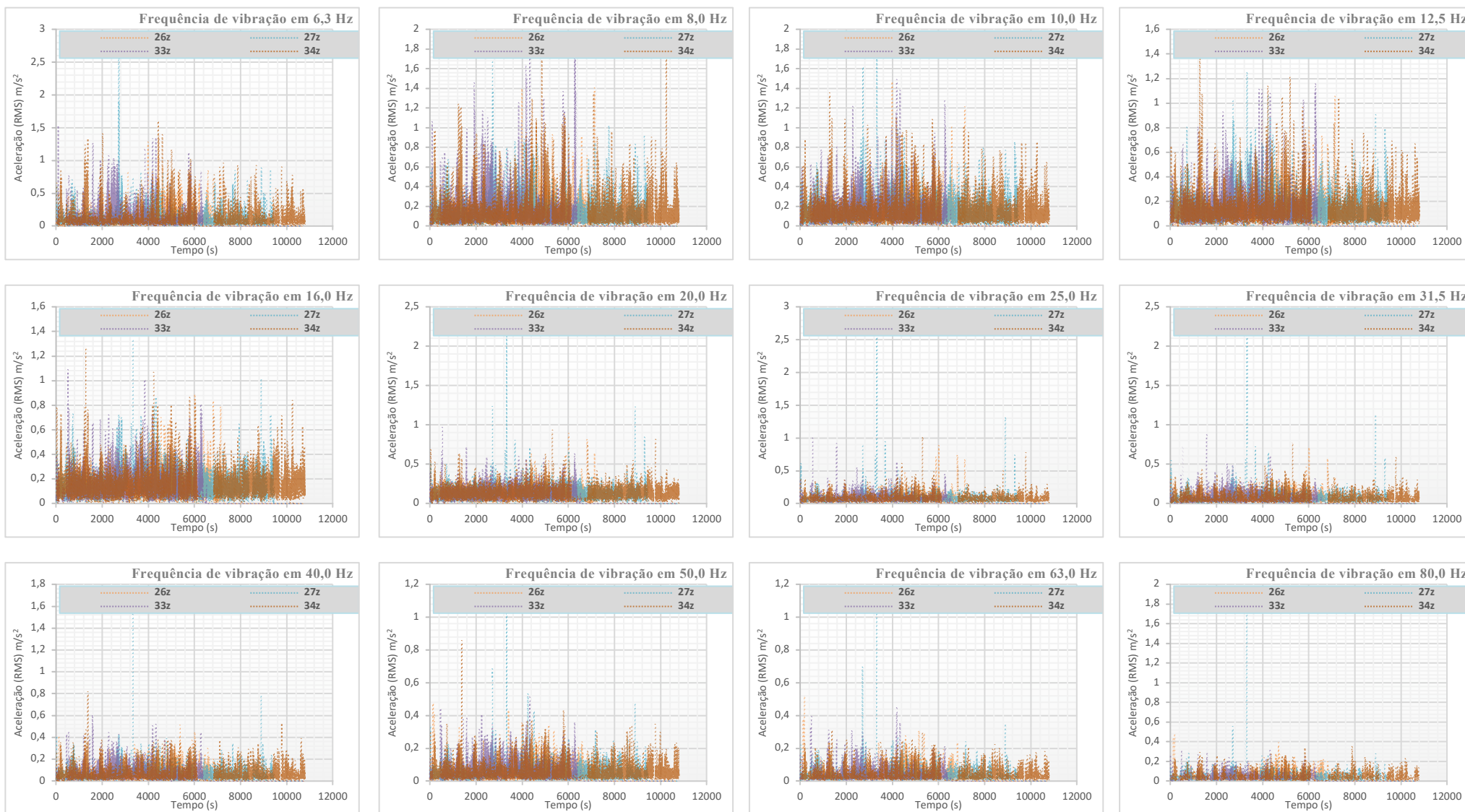


Gráfico 12 - Comportamento das frequências de vibração do eixo z na Pá Giratória

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

5.1 CONCLUSÕES

De acordo com o Decreto Lei nº46/2006 e a Directiva Europeia nº44/2002 verifica-se que a exposição a VCI nos Postos de Trabalho apresenta-se da seguinte forma:

- *Dumper* – apresenta uma exposição a vibração acima do valor de ação, com valor de $A(8)=0,5761\text{m/s}^2$, e abaixo do valor limite de exposição;
- Carro de perfuração – apresenta uma exposição dentro dos limites de ação e de exposição, com valor de $A(8)=0,1136\text{m/s}^2$;
- Pá Giratória – apresenta uma exposição acima do valor de ação, com valor de $A(8)=0,7687\text{m/s}^2$, e abaixo do valor limite de exposição;

Aplicando-se o Directiva Europeia nº44/2002, verifica-se que a exposição a VCI nos Postos de trabalho, apresenta-se:

- *Dumper* – apresenta uma exposição de dose de vibração acima do valor de ação com e valor de VDV de $12,37\text{m/s}^{1,75}$ e dentro do valor de exposição;
- Carro de perfuração – apresenta uma exposição de dose de vibração dentro dos limites, valor de VDV de $2,56\text{m/s}^{1,75}$;
- Pá Giratória – apresenta uma exposição de dose de vibração acima do limite de ação com valor de VDV de $13,96\text{m/s}^{1,75}$ e dentro do valor de exposição;

De acordo com a NP ISO 2631-1

Em relação ao Critério de conforto, temos:

- *Dumper*: apresenta uma variação entre razoavelmente desconfortável a desconfortável;
- Carro de perfuração: não é desconfortável;
- Pá Giratória: apresenta uma variação entre razoavelmente desconfortável e desconfortável;

Em relação ao Critério que avalia o enjoo ao movimento, temos:

- *Dumper*: apresenta uma Alta incidência ao enjoo do movimento, com um percentual de 100% do poder de enjoo;
- Carro de perfuração: apresenta uma Baixa incidência ao enjoo do movimento, com um percentual de 22% do poder de enjoo;
- Pá Giratória: apresenta uma Média incidência ao enjoo do movimento, com um percentual de 61% do poder de enjoo.

De acordo com a ISO 2631-5

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

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

De acordo com as Análises em frequências de vibração, temos:

- No *Dumper*: com os valores de aceleração (RMS – m/s^2), variando entre 1,16 m/s^2 a 1,35 m/s^2 e valores persistentes acima de 0,8 m/s^2 , existe então a probabilidade de que os manobreadores poderão ter acuidade visual reduzida, perturbações a níveis do sistema nervoso central, além de patologias ao nível da coluna espinal;
- No Carro de perfuração: com os valores de aceleração persistentes entre 0,12 m/s^2 e 0,8 m/s^2 , com valores de picos que podem alcançar 3,4 m/s^2 , existe então a probabilidade de que os manobreadores poderão desenvolver problemas a níveis de coluna espinal, diminuição da acuidade visual e perturbações a nível de massa abdominal;
- Na Pá Giratória: com os valores de aceleração na ordem de 1,16 m/s^2 e 1,58 m/s^2 , e valores de pico que podem chegar a 2,67 m/s^2 . Existe então a probabilidade de que os manobreadores poderão desenvolver patologias a níveis de sistema nervoso central, arritmias cardíacas, diminuição da acuidade visual e reflexos lentos;

5.2 PERSPECTIVA FUTURA

O trabalho apresentado nesta tese, obteve dados amostrados por uma equipe da Faculdade de Engenharia do Porto na qual a autora desta tese não estava inserida. Nessa perspectiva, recomenda-se que seja feito um abrangente acompanhamento da amostragem, afim de observar e apontar situações ao longo da jornada laborativa dos trabalhadores, para ressaltar observações que julguem ser relevantes e que possam contribuir de forma direta no desenvolvimento do mesmo.

Por ultimo, relativamente aos estudos efectuados, teria interesse ainda na realização dum ensaio de controlo com um número maior de trabalhadores, para comparar de forma ainda mais precisa os efeitos na saúde dos trabalhaores e quais as relações com o número de baixas médicas apresentadas ao Sistema Nacional de Saúde pelas industrias extrativas, de construção civil e de transportes urbanos, principalmente em relação as lesões musculoesqueléticas.

6. BIBLIOGRAFIA

- 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>.
- Barrero, L. H., Cifuentes, M., Rodríguez, A. C., Rey-Becerra, E., Johnson, P. W., Marin, L. S., ... Dennerlein, J. T. (2019). Whole-body vibration and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle mining operators. *Occupational and Environmental Medicine*, 76(8), 554–559. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105914>.
- Bernardo, C. M. da R. (2013). *Deteção de padrões de vibrações de corpo inteiro em ciclos de perfuração, carga e transporte em pedreira*.
- Bovenzi, M. (2010). A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Industrial Health*, 48(5), 584–595. <https://doi.org/10.2486/indhealth.MSWBVI-02>.
- Caffaro, F., Preti, C., Micheletti Cremasco, M., & Cavallo, E. (2017). Three-axial evaluation of whole-body vibration in agricultural telehandlers: The effects of an active cab-suspension system. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(10), 758–770. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1334899>.
- Costa, N. B. M. . (2012). *A influência da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores*. 187. Recuperado de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/20455>.
- DL n.º 46/2006. Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro. , I-A Diário da República / Official Journal of the Portuguese Republic § (2006).
- Eger, T. R., Kociolek, A. M., & Dickey, J. P. (2013). Comparing health risks to load-haul-dump vehicle operators exposed to whole-body vibration using EU directive 2002/44EC, ISO 2631-1 and ISO 2631-5. *Minerals*, 3(1), 16–35. <https://doi.org/10.3390/min3010016>
- EU Directiva 2002/44. *Directiva Europeia nº44.* , (2002).
- Eurostat. (2010). Health and safety at work in the GDR. In *East Central Europe* (Vol. 14). <https://doi.org/10.2785/38630>.
- GEP. (2018). *Coleção Estatísticas - Acidentes de Trabalho*. Recuperado de www.gep.mtsss.gov.pt
- Griffin. M.J. (1990). *Handbook of human vibration*. Academic Press (1a ed). London.
- 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>.
- 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).
- IGM - Instituto Geológico e Mineiro. (1999). Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto.
- INE. *INE - Classificação Portuguesa das Actividades Económicas.* , (2007).
- ISO 2631-5:2018. (2018). INTERNATIONAL STANDARD Mechanical vibration — Evaluation. *Iso.Org, E*.
- Johanning, 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>.
- Krajnak, K. (2018). Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 21(5), 320–334. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>.
- Mayton, A. G., Jobes, C. C., & Gallagher, S. (2014). Assessment of whole-body vibration exposures and influencing factors for quarry haul truck drivers and loader operators. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 21(3), 241–261. <https://doi.org/10.1504/IJHVS.2014.066080>.
- Miguel, A. S. S. S. (2014). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho* (13^o ed; P. Editora, Org.). Porto.
- NP ISO 2631-1:2007. (2007). Vibrações mecânicas e choque - Avaliação da Exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1: Requisitos gerais. *Ipq*, 1–37.
- OSHA UE. (2019). *Work-related musculoskeletal disorders : prevalence, costs and demographics in the EU*. <https://doi.org/10.2802/66947>.
- Pollard, J., Porter, W., Mayton, A., Xu, X., & Weston, E. (2017). The effect of vibration exposure during haul truck operation on grip strength, touch sensation, and balance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 57, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.009>.
- Portela, B. S. (2014). *Vibração De Corpo Inteiro Em Motoristas De Ônibus: Associação Com Variáveis De Aptidão Física E Dor Lombar*.
- 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>.
- Seidel, H., & Heide, R. (1986). Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 58(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/BF00378536>.
- Silveira, F., Neto, I. R., & Machado, F. M. (2019). A Comparison of ISO 2631-5:2004 and ISO 2631-5:2018 Standards for Whole-Body Vibrations Exposure: A Case Study. *Occupational and Environmental Safety and Health*, 202, 701–709. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3>.
- 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>.
-

ANEXOS

ANEXO A – INQUÉRITO TRABALHADOR DO DUMPER

Folha de Campo

DUMPER

FOLHA DE CAMPO

Inquérito aos trabalhadores - Caracterização do trabalhador e do posto de trabalho

Data da visita: 18/04/2013

| CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | |
|---------------------------|-------------|
| Nome empresa: - | CAE: 08121 |
| Morada: - | |
| Responsável: - | Contacto: - |

| IDENTIFICAÇÃO DO(S) TRABALHADOR(ES) EXPOSTO(S) ÀS VIBRAÇÕES | |
|---|--------------------------------------|
| Identificação | A.Dumper |
| Idade [anos] | 40 |
| Peso [kg] | 68 |
| Altura [cm] | 174 |
| Escolaridade | 2.º ciclo do ensino básico (6.º ano) |
| Categoria profissional | Condutor/Manobrador |
| Tempo ao serviço da empresa [anos] | 21 |
| Tempo no posto de trabalho atual [anos] | 21 |
| Queixas de ordem física | Sim, por vezes no pescoço. |
| Tempo de exposição a vibrações [anos] | 21 |
| Formação em HST? | Sim |
| Equipamentos de Proteção Individual (EPI) utilizados pelo trabalhador | Nenhum |

| ROTINA DE TRABALHO DIÁRIO PARA A TAREFA EM ANÁLISE | |
|--|--|
| Local de trabalho | <i>Dumper</i> |
| Atividade(s) do posto de trabalho em estudo | Condução do <i>dumper</i> (ciclos de carga e descarga) |
| Horário diário de trabalho [h] | 8 |
| Período de descanso [h] | 1 hora para almoço [das 12h às 13h] |
| Posição ocupada pelo trabalhador | Sentado |
| Condições em que é feita a atividade de trabalho: (P. ex. utilização do ar condicionado; cabine aberta/fechada) | Habitáculo com assento regulável, ar condicionado. Cabine geralmente fechada, rádio ligado. |
| Frequência de exposição a vibrações: (D – Diária; S – Semanal; M – Mensal) | Diária |
| Velocidade de circulação | Variável, não excedendo os 5 km/h. |
| Tipo de pavimento | Piso irregular em terra batida. |

| CARACTERIZAÇÃO DO VEÍCULO | |
|--------------------------------------|--|
| Designação/Tipo | Dumper |
| Marca/Fabricante | Terex |
| Modelo | TR 45 |
| N.º de série | |
| Ano de fabrico | 2005 |
| Ano de entrada ao serviço da empresa | 2005 |
| Estado do equipamento à data | Bom |
| Foto |  |

1 de 3

ANEXO B – INQUÉRITO TRABALHADOR DA PÁ

Folha de Campo

PÁ CARREGADORA GIRATÓRIA

FOLHA DE CAMPO

Inquérito aos trabalhadores - Caracterização do trabalhador e do posto de trabalho

Data da visita: 07/05/2013

| CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | |
|---------------------------|-------------|
| Nome empresa: - | CAE: 08121 |
| Morada: - | |
| Responsável: - | Contacto: - |

| IDENTIFICAÇÃO DO(S) TRABALHADOR(ES) EXPOSTO(S) ÀS VIBRAÇÕES | |
|---|---|
| Identificação | B.Giratória |
| Idade [anos] | 52 |
| Peso [kg] | 88 |
| Altura [cm] | 185 |
| Escolaridade | 1.º ciclo do ensino básico (4.ª classe) |
| Categoria profissional | Manobrador |
| Tempo ao serviço da empresa [anos] | 12 |
| Tempo no posto de trabalho atual [anos] | 12 |
| Queixas de ordem física | Não |
| Tempo de exposição a vibrações [anos] | 33 |
| Formação em HST? | Sim |
| Equipamentos de Proteção Individual (EPI) utilizados pelo trabalhador | Nenhum |

| ROTINA DE TRABALHO DIÁRIO PARA A TAREFA EM ANÁLISE | |
|--|--|
| Local de trabalho | Pá carregadora giratória |
| Atividade(s) do posto de trabalho em estudo | Operação da pá carregadora giratória (carga de camiões e <i>dumpers</i>) |
| Horário diário de trabalho [h] | 8 |
| Período de descanso [h] | 1 hora para almoço [das 12h às 13h] |
| Posição ocupada pelo trabalhador | Sentado |
| Condições em que é feita a atividade de trabalho: (P. ex. utilização do ar condicionado; cabine aberta/fechada) | Habitáculo com assento regulável, ar condicionado. Cabine geralmente fechada, rádio ligado. |
| Frequência de exposição a vibrações: (D – Diária; S – Semanal; M – Mensal) | Diária |
| Velocidade de circulação | Variável. Em movimentação não excede os 5 km/h. Normalmente está parado. |
| Tipo de pavimento | Piso irregular em terra batida ou em material desmontado. |

| CARACTERIZAÇÃO DO VEÍCULO | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Designação/Tipo | Pá carregadora giratória |
| Marca/Fabricante | CATERPILLAR |
| Modelo | 374 D |
| N.º de série | |
| Ano de fabrico | 2011 |
| Ano de entrada ao serviço da empresa | 2011 |
| Estado do equipamento à data | Bom |

2 de 3

ANEXO C – INQUÉRITO DO TRABALHADOR DO CARRO DE PERFURAÇÃO

Folha de Campo

ROCK DE PERFURAÇÃO

FOLHA DE CAMPO

Inquérito aos trabalhadores - Caracterização do trabalhador e do posto de trabalho

| |
|----------------------------|
| Data da visita: 18/04/2013 |
|----------------------------|

| CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | |
|---------------------------|-------------|
| Nome empresa: - | CAE: 08121 |
| Morada: - | |
| Responsável: - | Contacto: - |

| IDENTIFICAÇÃO DO(S) TRABALHADOR(ES) EXPOSTO(S) ÀS VIBRAÇÕES | |
|---|---|
| Identificação | C.Rock |
| Idade [anos] | 43 |
| Peso [kg] | 66 |
| Altura [cm] | 172 |
| Escolaridade | 1.º ciclo do ensino básico (4.ª classe) |
| Categoria profissional | Manobrador |
| Tempo ao serviço da empresa [anos] | 6 |
| Tempo no posto de trabalho atual [anos] | 6 |
| Queixas de ordem física | Não |
| Tempo de exposição a vibrações [anos] | 15 |
| Formação em HST? | Sim |
| Equipamentos de Proteção Individual (EPI) utilizados pelo trabalhador | Nenhum |

| ROTINA DE TRABALHO DIÁRIO PARA A TAREFA EM ANÁLISE | |
|---|--|
| Local de trabalho | Rock de perfuração |
| Atividade(s) do posto de trabalho em estudo | Operação do rock de perfuração |
| Horário diário de trabalho [h] | 8 |
| Período de descanso [h] | 1 hora para almoço (das 12h às 13h) |
| Posição ocupada pelo trabalhador | Sentado |
| Condições em que é feita a atividade de trabalho: <small>(P. ex. utilização do ar condicionado; cabine aberta/fechada)</small> | Habitáculo com assento regulável, ar condicionado. Cabine geralmente fechada, rádio ligado. |
| Frequência de exposição a vibrações: <small>(D – Diária; S – Semanal; M – Mensal)</small> | Diária |
| Velocidade de circulação | Variável. Em movimentação não excede os 5 km/h. Normalmente está parado. |
| Tipo de pavimento | Piso irregular em terra batida. |

| CARACTERIZAÇÃO DO VEÍCULO | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Designação/Tipo | Rock de perfuração |
| Marca/Fabricante | Atlas Copco |
| Modelo | Roc D7 |
| N.º de série | |
| Ano de fabrico | 2007 |
| Ano de entrada ao serviço da empresa | 2007 |
| Estado do equipamento à data | Bom |

3 de 3

APÊNDICES

APÊNDICE A

Médias dos eixos x, y e z por Posto de Trabalho DUMPER

| LOG 22 - Dumper | | | | LOG 23 - Dumper | | | | LOG 25 - Dumper | | | |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| | Média sem ponderação | Média ponderada | | Média sem ponderação | Média ponderada | | Média sem ponderação | Média ponderada | | Média sem ponderação | Média ponderada |
| aw1 | 0,5064 | 0,70896 | aw1 | 0,43993907 | 0,615914698 | aw1 | 0,454412668 | 0,636177735 | | | |
| aw2 | 0,5053 | 0,70742 | aw2 | 0,431130119 | 0,603582166 | aw2 | 0,3979179 | 0,55708506 | | | |
| aw3 | 0,7312 | 0,73120 | aw3 | 0,819514721 | 0,819514721 | aw3 | 0,821423075 | 0,821423075 | | | |
| Dumper | | | | | | | | | | | |
| | Eixo | awz | tempo de medição | n | | | | | | | |
| LOG 22 | zz | 0,73120 | 4629 | 1158 | 4786,416919 | | | | | | |
| LOG 23 | zz | 0,819514721 | 3491 | 1164 | | | | | | | |
| LOG 25 | zz | 0,821423075 | 7022 | 1171 | | | | | | | |
| 8h | 1/8h | raiz (tempo de medição/ter) | awz^2 | awz2*t | PICO | Média | VDV | MTVV | | | |
| 28800 | 3,47222E-05 | 0,400910422 | 0,53465344 | 2474,910774 | 13,33 | 8,443762584 | 1,0968 | | | | |
| | | 0,348159845 | 0,671604379 | 2344,570886 | 15,14 | 8,819059189 | 3,13 | | | | |
| | | 0,493780766 | 0,674735868 | 4737,995263 | 15,13 | 10,52713374 | 3,8 | | | | |
| ISO 2631-1 | | | | | | | | | | | |
| | A(8) tarefa (m/s²) | A(8) posto de trabalho | Valor máximo | VDV total | MTVV | | | | | | |
| | | | PICO | | | | | | | | |
| | 0,293145701 | | 13,33 | 8,443762584 | 1,0968 | | | | | | |
| | 0,285322119 | 0,576070167 | 15,14 | 8,819059189 | 3,13 | | | | | | |
| | 0,405602915 | | 15,13 | 10,527133742 | 3,8 | | | | | | |
| | 0,328023578 | | 15,14 | 12,369917789 | | | | | | | |
| ISO 2631-5 | | | | | | | | | | | |
| | Az | | | | N ⁶ | 260,9994191 | | | Sstat ⁶ | 0,000161985 | Sd ⁶ |
| | | | | | | | | | | | 3,5636299 |
| | Somatória dos Picos | Az⁶ | td/tm | mz | N | n | b | i | Sstat | Su | Sd |
| | 43,6 | 6869402054 | 1,901994453 | 0,0238 | 261 | 21 | 19 | 21 | 0,233478 | 108,99 | 1,2358965 |
| | Dz | Dzd | R | π | | | | | | | |
| | 46,652 | 51,92842389 | 1,061915431 | 26,68% | | | | | | | |

APÊNDICE B

Médias dos eixos x, y e z por Posto de Trabalho CARRO DE PERFURAÇÃO

| LOG 21 - CARRO | | | | | LOG 24 - CARRO | | | | | | | | |
|----------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|----------------------|-----------------|----|----|----|----------|-------|----------|
| | | Média sem ponderação | Média ponderada | | | Média sem ponderação | Média ponderada | | | | | | |
| | aw1 | 0,044548636 | 0,0623680899 | | aw1 | 0,073633459 | 0,103086843 | | | | | | |
| | aw2 | 0,078028911 | 0,1092404752 | | aw2 | 0,132 | 0,1848 | | | | | | |
| | aw3 | 0,088443764 | 0,0884437639 | | aw3 | 0,147723693 | 0,147723693 | | | | | | |
| Dumper | | | | | | | | | | | | | |
| | Eixo | awz | tempo de medição | n | | | | | | | | | |
| LOG 21 | yy | 0,1092404752 | 6467 | 1158 | | | | | | | | | |
| LOG 24 | yy | 0,1848 | 8633 | 1164 | | | | | | | | | |
| 8h | 1/8h | raiz (tempo de medição/tempo total) | awz^2 | awz2*t | Média PICO | Média VDV | MTVV | | | | | | |
| 28800 | 3,4722E-05 | 0,473865604 | 0,011933481 | 77,17382431 | 7,58 | 1,371473219 | 1,5136 | | | | | | |
| | | 0,547500634 | 0,03415104 | 294,8259283 | 17,78 | 2,49385063 | 3,8904 | | | | | | |
| | | A(8) tarefa (m/s2) | A(8) posto de trabalho | Valor máximo | VDV total | MTVV | | | | | | | |
| ISO 2631-1 | | | | PICO | | | | | | | | | |
| | | | 0,051765304 | | 7,58 | 1,371473219 | 1,5136 | | | | | | |
| | | | 0,101178117 | 0,113651476 | 17,78 | 2,493850630 | 3,8904 | | | | | | |
| | | | 0,07647171 | | 17,78 | 2,549019489 | | | | | | | |
| Az | | | | | | | | | | | | | |
| | | Somatória dos Picos | Az^6 | td/tm | Dz | mz | N | n | b | i | Sstat | Su | Sb |
| ISO 2631-5 | | 25,36 | 266008488,4 | 1,907284768 | 399207012,4 | 0,0231 | 261 | 15 | 28 | 15 | 0,226611 | 73,17 | 0,698041 |
| | | | | Dz | Dzd | R | π | | | | | | |
| | | 27,1352 | 30,21822498 | 0,600668861 | 6,10% | | | | | | | | |

APÊNDICE C

Médias dos eixos x, y e z por Posto de Trabalho PÁ GIRATÓRIA

| LOG 26 - Pá carregadora | | | LOG 27 - Pá carregadora | | | LOG 33 - Pá carregadora | | | LOG 34 - Pá carregadora | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| | Média sem ponderação | Média ponderada | | Média sem ponderação | Média ponderada | | Média sem ponderaçã | Média ponderada | | Média sem ponderação | Média ponderada |
| aw1 | 0,3987 | 0,55818 | aw1 | 0,4412 | 0,61768 | aw1 | 0,483060513 | 0,676284718 | aw1 | 0,408136368 | 0,571390916 |
| aw2 | 0,5535 | 0,7749 | aw2 | 0,5756 | 0,80584 | aw2 | 0,36675969 | 0,513463566 | aw2 | 0,346063622 | 0,484489071 |
| aw3 | 0,3373 | 0,3373 | aw3 | 0,3833 | 0,3833 | aw3 | 0,461255958 | 0,461255958 | aw3 | 0,44861966 | 0,44861966 |

| Dumper | | | | | | | | | |
|--------|-------------|----------------------------|------------------|-------------|------------|-------------|--------|--|--|
| | Eixo | awz | tempo de medição | n | | | | | |
| LOG 26 | yy | 0,7749 | 7280 | 1158 | | LOG 26 | | | |
| LOG 27 | yy | 0,80584 | 9452 | 1164 | | LOG 27 | | | |
| LOG 33 | xx | 0,676284718 | 6526 | 1171 | | LOG 33 | | | |
| LOG 34 | xx | 0,571390916 | 10800 | 1200 | | LOG 34 | | | |
| 8h | 1/8h | raiz (tempo de medição/ten | awz^2 | awz2*t | Média PICO | Média VDV | MTVV | | |
| 28800 | 3,47222E-05 | 0,502770104 | 0,60047001 | 4371,421673 | 13,03 | 10,02089569 | 2,7861 | | |
| | | 0,572882575 | 0,649378106 | 6137,921854 | 19,5 | 11,12391816 | 3,9355 | | |
| | | 0,476022292 | 0,45736102 | 2984,738017 | 16,79 | 8,509800464 | 3,6308 | | |
| | | 0,612372436 | 0,326487579 | 3526,065848 | 16,4 | 8,154874954 | 3,3496 | | |

| | A(8) tarefa (m/s2) | A(8) posto de trabalho | Valor máximo | | |
|------------|--------------------|------------------------|--------------|--------------|--------|
| | | | PICO | VDV total | MTVV |
| ISO 2631-1 | 0,389596554 | 0,768750506 | 13,030000000 | 10,020895688 | 2,7861 |
| | 0,461651694 | | 19,500000000 | 11,123918155 | 3,9355 |
| | 0,321926601 | | 16,790000000 | 8,509800464 | 3,6308 |
| | 0,349904047 | | 16,400000000 | 8,154874954 | 3,3496 |
| | 0,391058283 | | 19,500000000 | 13,683927124 | |

| Somatória dos Picos | | Az^6 | td/tm | mz | N | n | b | i | Sstat | Su | Sb |
|---------------------|--|-----------------------|-------------|--------|-----|----|----|----|----------|--------|------|
| 65,720000000 | | 80572219756,547300000 | 0,845616302 | 0,0308 | 261 | 31 | 19 | 12 | 0,302148 | 108,99 | 2,11 |

| Dz | | Dzd | | R | | π | |
|----------------|--|-----------------|--|-------------|--|--------|--|
| 70,32040000000 | | 68,382276842635 | | 2,112775446 | | 88,10% | |