

MESTRADO EM ENGENHARIA SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS



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

Relação entre Variáveis Ocupacionais e do Processo Produtivo – Indústria Extrativa a céu aberto

Célia Margarida Oliveira Ferreira

Orientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Co-orientador: Engenheira Jacqueline Castelo Branco (MSc)

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Arguente: Professor Doutor Fernando Pedro Ortega Oliveira Figueiredo

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Presidente do Júri: Professor Doutor José Manuel Soutelo Soeiro de Carvalho

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

[2011] |



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



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram para a concretização deste estudo expresso a minha sincera gratidão.

Ao Professor João Manuel Abreu Baptista por toda a disponibilidade, amizade e orientação ao longo deste estudo.

À Jacqueline pela amizade, disponibilidade, ajuda, apoio e orientação ao longo este estudo.

Ao meu marido pela infindável paciência e que não me deixou desanimar nem nos momentos mais difíceis.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

A indústria extrativa a céu aberto é uma das atividades económicas com um maior risco para os trabalhadores.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação procurou fornecer um primeiro contributo na procura e no estabelecimento de relação entre variáveis ocupacionais e condicionantes do processo produtivo no sistema de carga e transporte numa exploração a céu aberto.

Para tal procedeu-se a uma análise da exposição a poeiras, ao ruído, e às vibrações mecânicas (corpo inteiro e sistema mão-braço) no interior das cabines de dumpers e pás carregadoras, durante dias típicos de trabalho com práticas normais por parte do trabalhador.

A quantificação destas variáveis envolveu a utilização de um sonómetro Solo – 01dB, Classe 2, um acelerómetro modelo SVAN 101 e analisador de poeiras DustTrack modelo 8520 da Marca TSI.

Durante o período de trabalho, e simultaneamente à recolha dos dados, foram anotadas as tarefas executadas em cada momento de modo a, numa fase posterior de análise, ser possível cruzar os resultados dos diferentes tipos de registos.

A avaliação dos valores registados das poeiras, ruído e vibrações foram efetuadas com base na legislação nacional em vigor.

Durante o período de medições a pá carregadora CAT 966 F e os dumpers Euclid R 32 247 e Euclid R 32 248 foram substituídos por modelos mais recentes pá carregadora CAT 980 G e dumpers Volvo A 40 333 e Volvo A 40 969.

Da análise dos resultados verificou-se que, em relação às poeiras, em todas as máquinas os valores obtidos no interior das cabines estão abaixo do limite legal estabelecido pelo Decreto-Lei nº 169/90 de 22 de Maio.

Relativamente ao ruído, constatou-se que os valores obtidos estão abaixo dos limites legais estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 182/2006, valor-limite de exposição 87dB (A), valor de ação superior 85 dB (A) e inferior 80 dB (A).

Em relação às vibrações do sistema mão-braço observou-se que os valores obtidos estão abaixo dos limites legais estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 46/2006, no entanto, para o corpo inteiro, e em todas as máquinas, os valores estão acima dos valores legais.

Palavras-chave: ruído, PM₁₀, vibrações corpo inteiro, vibrações sistema mão-braço, indústria extrativa a céu aberto

ABSTRACT

The open pit mining is one of the economic activities with higher risk for workers.

This work sought to provide a first contribution in the research and establishment of relationship between occupational variables and constraints of the production process, on the load and transport system, in a open pit mine.

With this purpose was performed an analysis of exposure to dust, noise, and mechanical vibrations (whole body and hand-arm) inside the cabins of dumpers and loader over a typical working day, with the standard procedures by the worker.

The quantification of these variables involved the use of a sound level meter Solo - 01dB, Class 2, accelerometer model SVAN 101 and a TSI DustTrack model 8520.

Over all the working time, and simultaneously with data collection, the tasks performed were recorded to, at a later stage of analysis, be possible to cross the results of different types of records.

The evaluation of dust, noise and vibration were based on Portuguese national law.

Over the measurements period, the loader CAT 966 F and the dumper trucks Euclid R 32 247 and Euclid R 32 248, have been replaced by newer models, the loader CAT 980 G and dumper trucks Volvo A 40 333 and Volvo A 40 969.

The analysis of the results showed that, for dust, in all equipment's, the values inside the cabins are below the legal limit established by Portuguese national law.

Regarding to the noise, it was found that the values recorded are below legal limits established by Portuguese national law.

In relation to the vibrations of hand-arm was observed that the values obtained are below the legal limits established by Portuguese law. However, for whole body vibrations, the values are above the legal limit on all equipment's.

Keywords: noise, PM₁₀, whole body vibration, hand-arm vibration open pit mining industry.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	ESTADO DA ARTE	3
2.1	Referências de Investigação	3
2.1.1	Contaminação Química – Poeiras	3
2.1.1.1	Origem, dispersão das poeiras	3
2.1.1.2	Classificação das poeiras	3
2.1.1.3	Sílica	5
2.1.1.4	Doenças relacionadas com a exposição a poeiras	6
2.1.1.4.1	Silicose.....	6
2.1.1.4.2	Outras doenças.....	7
2.1.1.5	Evolução Histórica	7
2.1.2	Legislação – Poeiras.....	9
2.1.3	Ruído.....	11
2.1.3.1	Características do Ruído	11
2.1.3.1.1	Nível de pressão Sonoro e Potência Sonora	11
2.1.3.1.2	Intensidade sonora	11
2.1.3.1.3	Frequência e Espectro sonoro	11
2.1.3.1.4	Tipos de ruído.....	12
2.1.3.2	Audibilidade	12
2.1.3.3	Curvas de ponderação	13
2.1.3.4	Anatomia e Fisiologia da Audição	14
2.1.3.5	Ação do ruído sobre o aparelho auditivo	14
2.1.3.6	Ação do ruído sobre o organismo em geral	16
2.1.3.7	Ruído e outros agentes físicos	17
2.1.3.8	Perspetiva Histórica	17
2.1.4	Legislação - Ruído.....	19
2.1.5	Vibrações.....	21
2.1.5.1	Conceitos físicos das vibrações	21
2.1.5.2	Efeitos das vibrações no corpo humano	22
2.1.5.2.1	Vibrações corpo inteiro	24
2.1.5.2.2	Vibrações sistema mão-braço	25
2.1.5.3	Evolução histórica.....	28
2.1.6	Legislação - Vibrações.....	31
3	OBJETIVOS E METODOLOGIAS E MEIOS.....	35
3.1	Objetivos da Tese.....	35
3.2	Metodologia de Desenvolvimento	35
3.3	Local de recolha de dados	36
3.4	Condições de aquisição de dados	37
3.5	Equipamento de Medição	40

4	TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	43
4.1	Poeiras	43
4.2	Ruído	46
4.2.1	Dumpers.....	46
4.2.2	Pá carregadora	50
4.2.3	Amostragem.....	52
4.2.4	Cálculo da Incerteza de medição.....	54
4.3	Vibrações.....	55
4.3.1	Sistema mão-braço.....	55
4.3.2	Corpo inteiro	55
4.3.2.1	Dumper	55
4.3.3	Pá carregadora.....	59
5	CONCLUSÕES	61
6	PERSPETIVAS FUTURAS	63
7	BIBLIOGRAFIA.....	65
	ANEXOS.....	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos sistema respiratório e um pulmão em pormenor (Santos, 2009)	4
Figura 2: Fração inalável, respirável e torácica (Miguel, 2010)	5
Figura 3: Representação gráfica das linhas isofônicas normais para sons puros (Miguel, 2010) 13	13
Figura 4: Curvas de ponderação normalizadas A, C e Linear (Prof2000).....	13
Figura 5: Esquema do corte do aparelho auditivo humano (Prof2000)	14
Figura 6: Evolução da surdez profissional (adaptado (Arezes & Miguel, 2009)).....	15
Figura 7: Parâmetros característicos de um movimento sinodal (Ximenes, 2006).....	21
Figura 8: Sistema mecânico simplificado do corpo humano adaptado e frequências de ressonância nas várias partes do corpo humano (Costa, 2009)	23
Figura 9: Eixos de vibração para o sistema Vibração Corpo Inteiro (ISO 2631-1:1997).....	24
Figura 10: Curvas de Ponderação usuais para VCI (norma ISO 2631-1).....	24
Figura 11: Guia de saúde – zona de precaução (ISO 2631:1997)	25
Figura 12: Sistema de coordenadas para a medição das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço (adaptado da ISO 5349).....	26
Figura 13: Fator de ponderação em frequência para vibrações transmitidas ao sistema mão-braço W_h (adaptado da ISO 5349).....	26
Figura 14: Gráfico para avaliação de dedos brancos ISO 5349-1	27
Figura 15: Esquema da metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo.....	35
Figura 16: Vista geral da pedreira	36
Figura 17: Vista geral da Instalação de britagem	36
Figura 18: Vista geral do aterro de inertes	37
Figura 19: a) Euclid R 32 b) Volvo A 40	37
Figura 20: Carga do dumper – circuito pedreira	38
Figura 21: a) CAT 966 F b) CAT 980 G.....	38
Figura 22: Exemplo do estado da pista de circulação antes e depois da manutenção	39
Figura 23: Exemplo do estado da pista de circulação – circuito pedreira	39
Figura 24: Exemplo do estado da pista de circulação – circuito britagem	39
Figura 25: Exemplo do estado da pista de circulação – aterro.....	40
Figura 26: Sonómetro Solo 01dB.....	40
Figura 27: Equipamento medição de poeiras respiráveis e totais - DustTrack	41
Figura 28: Equipamento medição das vibrações mão-braço e corpo inteiro	41
Figura 29: Instalação dos acelerómetros triaxiais no volante (a) e assento (b)	42
Figura 30: Valores de partículas totais ($mg.m^{-3}$) verificados no interior da cabine das pás carregadoras.....	43
Figura 31: Valores de partículas respiráveis ($mg.m^{-3}$) verificados no interior da cabine da pá carregadora CAT 980G	44
Figura 32: Valores de partículas totais ($mg.m^{-3}$) verificados no interior da cabine dos dumpers Euclid e Volvo A 40	44
Figura 33: Valores de partículas respiráveis ($mg.m^{-3}$) verificados no interior da cabine dos dumpers Volvo A 40 333 e A 40 969.....	45
Figura 34: Evolução do ruído no circuito britagem e pedreira no interior da cabine do dumper Euclid R32 247 (modelo antigo)	46
Figura 35: Evolução do ruído no circuito britagem e pedreira na interior da cabine do dumper Euclid R32 248 (modelo antigo)	47
Figura 36: Evolução do ruído no circuito pedreira no interior da cabine do dumper Volvo A 40 333 (modelo novo)	48
Figura 37: Evolução do ruído no circuito britagem no interior da cabine do dumper Volvo A 40 333 (modelo novo)	48
Figura 38: Evolução do ruído no circuito pedreira no interior da cabine do dumper Volvo A 40 969 (modelo novo)	49
Figura 39: Evolução do ruído no circuito britagem no interior da cabine do dumper Volvo A 40 969 (modelo novo)	49
Figura 40: Evolução do ruído no interior da cabine da pá carregadora CAT 966F (modelo antigo)	50

Figura 41: Evolução do ruído no interior da cabine da pá carregadora CAT 980G (modelo novo)	51
Figura 42: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem de 72min - pá carregadora CAT 980G	52
Figura 43: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem de 124min – dumper Volvo A 40 333 (circuito britagem)	53
Figura 44: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem 50min – dumper Volvo A 40 333 (circuito pedreira)	53
Figura 45: Evolução das vibração mão-braço pá carregadora CAT 980 G (modelo novo)	55
Figura 46: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Euclid R 32 247 - Circuito Pedreira (modelo antigo)	56
Figura 47: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 333 - circuito britagem (modelo novo)	56
Figura 48: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 333 - circuito pedreira (modelo novo)	57
Figura 49: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 969 - circuito britagem (modelo novo)	58
Figura 50: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 969 - circuito pedreira (modelo novo)	58
Figura 51: Evoluções das vibrações corpo inteiro, pá carregadora CAT 966F (modelo antigo)	59
Figura 52: Evoluções das vibrações corpo inteiro, pá carregadora CAT 980 G (modelo novo)	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Índice de incidência dos acidentes de trabalho em Portugal na Indústria Extrativa, Construção Civil, Pescas e a nível nacional	1
Tabela 2: Atividades desenvolvidas no domínio da segurança e Higiene no trabalho – exposição a agentes físicos	1
Tabela 3: Tipo de poeiras e efeitos sobre o organismo.....	5
Tabela 4: Valores limite de exposição para a sílica cristalina de acordo com diferentes instituições/normas.....	10
Tabela 5: Risco de perda de audição em função da exposição ao ruído, por anos de exposição	15
Tabela 6: Valores críticos e efeitos no ser humano.....	16
Tabela 7: Valores de exposição pessoal ou diária segundo o Decreto – Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro.....	20
Tabela 8: Limite de exposição ocupacional ao ruído	20
Tabela 9: Efeitos das vibrações sobre o corpo humano segundo a frequência de vibração.....	23
Tabela 10: Valores de exposição pessoal ou diária, para 8 horas – vibrações, segundo o Decreto-Lei nº 46/2006 de 24 de Fevereiro	31
Tabela 11: Valores de L_{Aeq} e incerteza resultante da avaliação do nível de ruído para os dias de medições	54

GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS/...

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ACT – Autoridade para as condições do Trabalho

GEP - Gabinete de Estratégia e Planeamento

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

L_{cpico} – Nível de pressão sonora de pico

$L_{Aeq, T}$ – nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado

NIOSH - The National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

OMS - Organização Mundial de Saúde

PAIR - Perda Auditiva Induzida pelo Ruído

PTS - Permanente dos Limiares Auditivos ou Permanent Thershold Shift

PM_{10} – partículas inaláveis de diâmetro inferior a 10 micrómetros

RMS – Root Mean Square

TTS - Temporário dos Limiares Auditivos ou Temporary Thershold Shift

UPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

VLE – Valor Limite de Exposição

VCI – vibrações corpo inteiro

1 INTRODUÇÃO

O nosso País é particularmente rico em recursos minerais não metálicos, com importância económica significativa. Trata-se de uma atividade diretamente ligada ao aproveitamento de um recurso natural escasso e cuja atividade causa impactes ambientais e ocupacionais, contudo, os impactos ambientais da exploração são circunscritos ao local da extração não apresentando efeitos globais (IGAOT, 2004).

A nível ocupacional é uma atividade, cujo trabalho é feito, frequentemente no limite, com exposição a múltiplos riscos, inerentes ao processo produtivo (perfuração, carregamento e detonação da pega de fogo, carga e transporte e britagem). Considerando apenas o sistema de carga e transporte, alvo de estudo, os riscos inerente ao seu funcionamento, são relevantes, quer na vertente ambiental quer ocupacional. A título de exemplo podem ser apontados os seguintes riscos: exposição a ruído, poeiras e vibrações mecânicas, capotamento de equipamentos, colisão entre equipamentos, excesso de carga, circulação com velocidade excessiva, estado de conservação dos pavimentos e pendentes das rampas de acesso, largura das faixas de rodagem entre outros (Matos, 2010).

A nível nacional, e analisando a Tabela 1 facilmente se verifica que a indústria extrativa continua a ser em Portugal (e também em muitos outros países) um dos sectores com índices de incidência de acidentes mais elevados.

Tabela 1: Índice de incidência dos acidentes de trabalho em Portugal na Indústria Extrativa, Construção Civil, Pescas e a nível nacional

CAE	2005	2006	2007	2008
Indústria extrativa	10.630,3	11.142,7	8474,2	11 353,4
Pesca	9.939,0	11.337,5	987,6	1 055,9
Construção	9.302,0	9.364,8	8 290,3	8 471,8
Nacional	5.311,9	5.474,5	5 422,2	5 478,1

Fonte: (GEP, 2009)

Segundo dados Gabinete de Estratégia e Planeamento em Portugal, entre os anos de 2002 e 2007 do conjunto dos agentes físicos a que os trabalhadores se encontram expostos no local de trabalho, o ruído sobressai do conjunto dos 7, Tabela 2.

Tabela 2: Atividades desenvolvidas no domínio da segurança e Higiene no trabalho – exposição a agentes físicos

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Total Estabelecimentos	58.947	78.619	97.788	114.440	127.160	143.877
Total Trabalhadores	1.162.425	145.1834	1675905	1.826.889	1.945.749	2.060.918
Nº estabelecimentos com trabalhadores expostos	6.213	6.519	8.113	11.451	13.753	14.180
Nº trabalh. desses estabelecimentos	357.655	389.307	403.651	432.955	452.365	453.945
Nº trabalhadores expostos a						
Ruído	105.551	111.333	118.499	130.793	134.129	169.307
Vibrações	8.494	6.844	9.546	9.680	10.291	9.665
Radiações ionizantes	3.248	2.830	4.117	4.093	3.874	4.766
Raios ultravioleta	2.747	2.830	4.117	4.093	3.874	4.766
Raios laser	785	1.082	318	523	423	746
Riscos eléctricos	47.489	57.260	60.875	69.067	94.457	79.743
Outros agentes	41.388	58.600	72.615	84.392	101.496	99.412

Fonte: (GEP, 2009)

Tendo em consideração as estatísticas apresentadas, torna-se fundamental prevenir no sentido de evitar e minimizar o número e acidentes e doenças ocupacionais associadas a este tipo de atividade económica a nível nacional.

Considerando os equipamentos de carga e transporte, os dumpers e pás carregadoras, merecem uma atenção particular, pois compreendem a mais numerosa classe de máquinas utilizada na indústria extrativa, Figura 19 e Figura 21, cujos riscos inerentes ao seu funcionamento são relevantes, pois são conhecidos por emitirem níveis elevados de ruído e vibrações.

Uma peculiaridade deste grupo de trabalhadores é a exposição constante ao ruído e vibrações que acarretam alterações auditivas e extra auditivas e problemas da coluna vertebral, respetivamente.

Miguel (2010) refere que o ruído lesa não só o sistema auditivo mas também as diferentes funções orgânicas, contribuindo para distúrbios gastrointestinais, sistema nervoso, irritabilidade, agravar estados de angústia e fadiga (Miguel, 2010).

Mabbot (2001) afirma que a exposição por parte dos trabalhadores a vibrações corpo inteiro conduz a problema da coluna vertebral, problemas digestivos, e outros (Mabbot, 2001).

As poeiras nesta atividade formam-se durante as operações de transporte e transformação e na sequência de rebenamentos. São várias as doenças que podem estar associadas à sua exposição, desde danos oculares, garganta, nariz, dermatites, irritações do sistema digestivo, reações alérgicas (Petavratzi, et al., 2005), doenças respiratórias, tais como, broncopatias, pneumatopatias, transtornos respiratórios; e doenças pulmonares, como, silicose, abestose e pulmão negro (Martins, 2009).

Em relação às poeiras, Branco (2009) afirma que os picos observáveis em três explorações a céu aberto correspondem aos momentos das descargas efetuadas na torva do primário. Contudo a exposição a poeiras por parte deste grupo de trabalhadores é relativamente baixa, pois estes permanecem no interior das cabines as 8 horas diárias de trabalho, apenas saindo da cabine ou abrindo a janela/porta para situações pontuais.

Neste contexto, com este estudo pretende-se analisar o padrão da exposição ao ruído, vibrações corpo inteiro, vibrações sistema mão-braço e poeiras dentro de cabines de dumpers e pá carregadora, durante dias típicos de trabalho com práticas normais por parte do trabalhador. As medições foram feitas durante o período da tarde e, em simultâneo para todas as variáveis. Simultaneamente à recolha dos dados foram anotadas as tarefas executadas em cada momento, de modo, a numa fase posterior de análise ser possível cruzar os resultados dos dois tipos de registos.

2 ESTADO DA ARTE

A indústria extrativa é por natureza uma atividade de elevado risco, sendo necessário prevenir as doenças ocupacionais a que se encontram sujeitos os trabalhadores. Para além dos riscos inerentes a esta atividade profissional, cujo desenvolvimento decorre ao ar livre sob condições atmosféricas adversas com exposição a ruído, PM₁₀ e vibrações, pretende-se, neste capítulo, fazer uma breve revisão de conceitos no que se refere as variáveis ocupacionais avaliadas neste estudo.

2.1 Referências de Investigação

2.1.1 Contaminação Química – Poeiras

Os agentes químicos podem existir na forma de gases, vapores e sólido contaminando o ambiente (Miguel, 2010). Sendo que as poeiras contaminando o ambiente, diminuindo a produtividade e a eficiência (Martins, 2009).

Todas estas formas podem ser absorvidas pelo organismo humano através das vias respiratórias, pela pele ou por ingestão. As poeiras, com diâmetro inferior a 10µm são de extrema importância para a saúde dos trabalhadores, pois a inalação destas contendo sílica pode conduzir a doenças pulmonares (Lima, 2006).

No processo produtivo da indústria extrativa um dos problemas mais frequentes, comum e grave é a geração, a emissão e a dispersão de material particulado – poeiras, para a atmosfera. A geração de poeira é decorrente dos processos de desmonte, fragmentação e transporte.

Neste trabalho serão consideradas as PM₁₀ designadas ao longo do texto como poeiras.

2.1.1.1 Origem, dispersão das poeiras

A maioria das poeiras que se encontram na indústria extrativa ocorrerem devido a desagregação mecânica produzida pelo desmonte por explosivos, nas operações de perfuração e na britagem. A composição das poeiras não é necessariamente a mesma que a rocha original, pois os minerais podem ser libertados em proporções diferentes (Santos, 2005).

A quantidade gerada varia com a natureza da rocha, das condições atmosféricas no local, bem como, com a friabilidade das rochas.

A emissão das poeiras para a atmosfera encontra-se relacionada com a movimentação do ar em redor das partículas que já se encontram sobre a forma e pó. A permanência destas na atmosfera está relacionada com a sua massa e com as forças coesão entre elas. Esta permanência em suspensão é também influenciada pelas condições climatéricas prevaletentes no local, por exemplo, os trabalhos em climas secos geram mais poeira do que em regiões chuvosas (Petavratzi, et al., 2005). Em certas zonas do Sudeste de França, os Verões quentes e longos são responsáveis por condições favoráveis à dispersão de poeiras, por outro lado, esta dispersão é mais ou menos esporádica no Norte

2.1.1.2 Classificação das poeiras

Existem várias definições para o termo poeira. O IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) define poeiras como sendo partículas sólidas, secas, projetadas no ar por fontes naturais, como vento, erupções vulcânicas e por processos mecânicos ou artificiais, tais como britagem, moagem, trituração, perfuração e demolição. A faixa de tamanho encontra-se compreendida entre 1-100µm de diâmetro e assentam lentamente sob a influência da gravidade; para a ISO 7708, poeiras são pequenas partículas sólidas, convencionalmente tomadas como partículas abaixo de 75 µm em diâmetro, que se depositam sob o seu próprio peso, mas que podem ficar em suspensão por algum tempo.

Segundo Petavratzi (2005), as poeiras podem ser subclassificadas tendo em conta os seus efeitos como:

- Ambientais;
- Ocupacionais;
- Fisiológicos (Petavratzi, et al., 2005).

As poeiras ambientais podem causar danos em máquinas, diminuir a visibilidade, tornarem-se substâncias irritantes e podem ainda influenciar a agricultura. A influência na agricultura é determinada pela concentração, distribuição granulométrica, composição química e pela velocidade de deposição (Petavratzi, et al., 2005).

De acordo com a Norma NP 1796 (2006), quando se consideram poeiras ocupacionais, existem três frações de poeiras como alvo de preocupação,

- Frações de poeiras inaláveis – partículas com diâmetro aerodinâmico, menores que $100\mu\text{m}$, são classificadas como potencialmente perigosas e entram no organismo pelo nariz e pela boca;
- Frações de poeiras torácicas – menores que $25\mu\text{m}$ atingem a laringe, região pulmonar e alveolar;
- Frações de poeiras respiráveis - menores que $10\mu\text{m}$ atingem a laringe, sendo potencialmente perigosas quando atingem a região alveolar.

Na Figura 1 encontra-se um esquema do sistema respiratório humano.

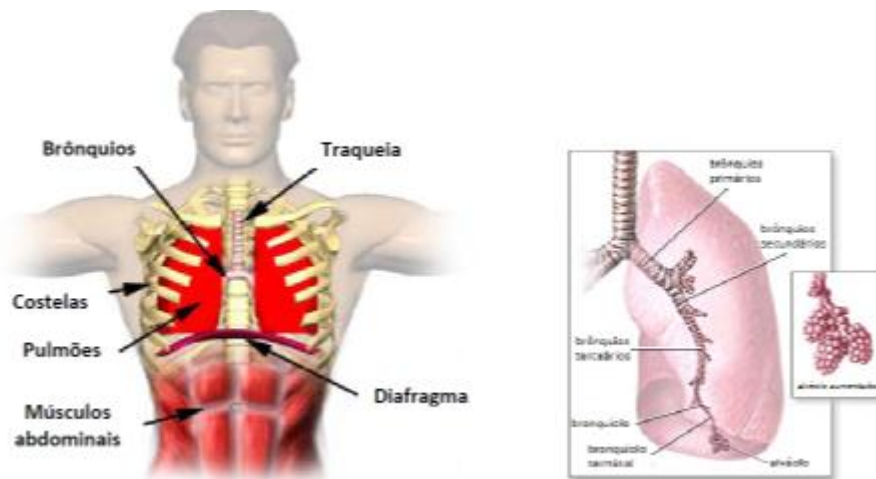


Figura 1: Esquema dos sistema respiratório e um pulmão em pormenor (Santos, 2009)

O aparelho respiratório retém a maioria das partículas através da ativação dos mecanismos de defesa. Contudo as partículas que penetram além do sistema bronquíolo terminal são rapidamente ingeridas pelos macrófagos. As partículas de poeira que se alojam nos alvéolos estimulam o recrutamento e acúmulo dos macrófagos nessa área provocando lesões no tecido pulmonar (Fundacentro, 2010).

Segundo Brevigliero (2006) citado em Martins (2009) o sistema respiratório humano possui proteção há poeiras com diâmetro maior que $10\mu\text{m}$, sendo que a faixa mais perigosa situa-se entre $0,5-10\mu\text{m}$ (Martins, 2009).

A Figura 2 indica a probabilidade de uma partícula com um diâmetro aerodinâmico específico penetrar nas diferentes partes do sistema respiratório humano.

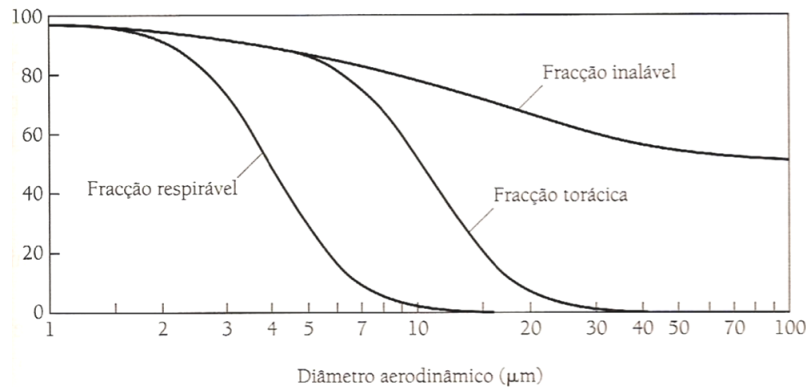


Figura 2: Fração inalável, respirável e torácica (Miguel, 2010)

Analisando a Figura 2 verifica-se que, a fração torácica e respirável são sub-frações da fração inalável. Observa-se ainda que, 50% das poeiras respiráveis tem diâmetro aerodinâmico até 100µm, 100µm de até 10µm pertencem à fração torácica e de até 4µm pertencem à fração respirável.

Na Tabela 3 encontram-se discriminados os efeitos fisiológicos no organismo humano, tendo em conta o tipo de lesão provocada pelas poeiras (Miguel, 2010).

Tabela 3: Tipo de poeiras e efeitos sobre o organismo

Tipo de poeiras	Efeitos no organismo	Tipos de agentes e/ou doença
Inertes	Não produzem alterações fisiológicas significativas sobre o organismo, no entanto, podem causar problemas em concentrações muito elevadas	carbonatos celulose caulino
Alérgica	Pode causar algum tipo de processo alérgico	madeira
Fibrogénicas ou pneumoconióticas	Suscetíveis de provocar reações químicas ao nível dos alvéolos pulmonares, dando origem a doenças graves	sílica livre (silicose) amianto (asbestose)
Sensibilizantes	Atuam sobre a pele ou sobre o aparelho respiratório, por inalação	madeiras tropicais resinas
Tóxicas	Causam lesões em um ou mais órgãos viscerais	poeiras metálicas chumbo berílio crómio

Adaptado (Miguel, 2010)

O efeito fisiológico das poeiras nos seres humanos pode recair negativamente nas condições de trabalho, por exemplo, as poeiras tóxicas podem causar reações químicas com o sistema respiratório ou então permitir a absorção de compostos tóxicos pela corrente sanguínea (Petavratzi, et al., 2005).

2.1.1.3 Sílica

A sílica ou dióxido de silício (SiO₂) pode ter origem mineral ou sintética, sendo o componente predominante na crosta terrestre.

As formas de sílica cristalina ou polimorfos mais comuns são o α e β- quartzo, α e β-tridimita e a α e β-cristobalita, sendo que "α" é usado para a fase cristalina formada a baixa temperatura e a "β" a alta temperatura (Bon, 2006).

Nem todas as poeiras se encontram associadas à silicose, sendo que o mineral que provoca esta doença é a sílica cristalina, habitualmente sob a forma de quartzo (Nepsi, 2006). Devido à

grande ocorrência da sílica cristalina na crosta terrestre os trabalhadores podem ser expostos à sílica em várias atividades económicas, desde atividades de extração da rocha, indústria do vidro, cerâmica, construção e nas fundições.

A sílica cristalina foi considerada carcinogénica na forma de quartzo e de cristobalita. Segundo o IARC é carcinogénica para os seres humanos, estando inserida na "categoria 2A" substâncias com menor evidência de efeitos cancerígenos para ser humano mas que em estudos feitos com animais revelam evidência inequívoca de ser mutagénicos – agentes cancerígenos prováveis (Santos, 2009)

Segundo Hessel (2000) citado em Santos (2009) os resultados do estudo realizado pelo IARC são inconsistentes, sendo que a sílica seria um carcinogénico somente em ratos (Santos, 2009).

O seu uso como aditivo em alimentos é permitido e conta na lista do U.S. Food Chemicals Codex and National Formulary, sendo que a estimativa da dose letal oral é maior que 15g/kg (Gruenzner, 2003).

2.1.1.4 Doenças relacionadas com a exposição a poeiras

São várias as doenças que podem estar associadas à exposição às poeiras, desde danos oculares, garganta, nariz, problema de pele (dermatites), irritações do sistema digestivo e reações alérgicas (Petavratzi, et al., 2005), doenças respiratórias, tais como, broncopatias, pneumopatias, transtornos respiratórios, fístula do trato respiratório, doenças torácica, doenças nasais, hipersensibilidade respiratória, infeções respiratórias, entre outras; e doenças pulmonares, como, silicose, abestose, pulmão negro (Martins, 2009).

2.1.1.4.1 Silicose

A silicose é uma das doenças profissionais conhecidas há mais tempo e é provocada pela inalação de pó sílica cristalina respirável, sendo uma das formas mais comuns de pneumoconiose. Trata-se de uma doença irreversível, mesmo não havendo mais exposição, a doença não estabiliza e continua a progredir. Sendo diagnosticada com uma radiografia ao tórax (Merck, 2009).

Segundo Santos (2005) o desenvolvimento da doença depende de fatores que determinam a maior ou menor probabilidade de um trabalhador desenvolver silicose, tais como:

- Concentração atmosférica da fração respirável de poeira e seu teor em sílica;
- Duração da exposição;
- Suscetibilidade individual;
- Dimensão da partícula (Santos, 2005).

A silicose pode manifestar-se patologicamente sob três formas distintas, tendo em conta o tipo, duração da exposição e concentração, à poeira de sílica cristalina:

- Silicose aguda – desenvolve-se após a exposição a altas concentrações de sílica cristalina por períodos que variam entre poucos meses até 4 ou 5 anos, sendo considerada como rara.
- Silicose acelerada – resulta de exposição a altas concentrações de sílica cristalina e desenvolve-se entre cinco a dez anos após o início da exposição.
- Silicose crónica – apresenta uma evolução lenta, 10 a 20 anos, e progressiva, que resulta em insuficiência pulmonar (Santos, 2005) (Bon, 2006).

Em Portugal, o centro Regional de Saúde Pública do Norte desenvolveu um estudo intitulado "Saúde na Região Norte: Medir para Mudar" durante os anos 2000 e 2005 baseados em dados referentes aos casos de doenças profissionais, para o distrito do Porto. O número de doenças profissionais nesse período foi de 2576. Mais de 60% dos casos referidos correspondem a doenças devidas a agentes físicos (tais como ruído e vibrações); cerca de um quarto (25%) correspondem a doenças do aparelho respiratório, menos de 1% correspondem a doenças devidas a agentes biológicos. Ainda de acordo com o mesmo estudo, 85%, das doenças do aparelho respiratório declaradas são devidas à silicose e 13% à asma ocupacional (Norte, 2005).

A nível mundial milhares de casos são diagnosticados a cada ano em várias partes do mundo, com predominâncias nos países em desenvolvimento. Nos EUA estima-se que mais de 1 milhão de profissionais está exposto a sílica livre e cristalina (Santos, 2009).

2.1.1.4.2 Outras doenças

O estudo dos efeitos das poeiras nos seres humanos era focado apenas na fibrose pulmonar. Nos anos 50 e 60, iniciou-se o estudo da exposição às poeiras como fonte do cancro do pulmão. Contudo os estudos desenvolvidos não foram bem controlados e a evidência da relação entre o cancro de pulmão e a exposição à sílica não foi convincente, devido a frequente presença de cancerígenos conhecidos nos locais de trabalho como fatores de confusão. Contudo, casos de cancro apesar de inconcludentes registam a associação da exposição à sílica, tais como, cancro da faringe, fígado, pâncreas, estômago, entre outros (Santos, 2005).

Existem doenças que ocorrem sempre em associação com a silicose, como por exemplo, a tuberculose pulmonar, doenças autoimunes, obstrução das vias aéreas (enfisema, bronquite crónica e asma), a artrite reumatóide, e as doenças renais também se encontram associadas à exposição à sílica (Santos, 2005)(Bon, 2006).

2.1.1.5 Evolução Histórica

As atividades de mineração e beneficiação de rochas são realizadas pelo ser humano desde o início da civilização. Georgius Agrícola (1494-1555), autor do livro "De Re Metallica", relatou as consequências da silicose, nomeadamente, a mortalidade e o seu profundo impacto na sociedade daquela época. No seu livro descreveu a doença que ocorria nos trabalhadores das minas de ouro e de prata na região de Joachimstahl, a qual designou de "tísica dos mineiros" que efetivamente eram os casos de silicose (Trabalho, 2009).

Em 1633-1714 Ramazzini descreve pela primeira vez a silicose, como uma forma de pneumoconiose causada pela inalação de finas partículas de sílica cristalina. Contudo o termo silicose foi introduzido em 1870 por Visconti (Santos, et al., 2009).

Contudo, apenas no início do século XX a silicose é reconhecida como doença profissional. Em 1974 o NIOSH publica um documento onde chama atenção para os casos de silicose e a necessidade de investigação nesta área (Branco, 2009).

Russel (1929) citado em Bon (2006) realizou um estudo onde forneceu várias informações sobre os efeitos na saúde sobre a exposição à poeira de granito de Vermont. Este estudo serviu de base para o estabelecimento do primeiro valor limite de exposição de 10 milhões de partículas por pé cúbico e ainda para a implementação de sistemas de ventilação(Bon, 2006).

Uns anos mais tarde Davis (1983) analisa a taxa de mortalidade entre os trabalhadores do granito de Vermont entre 1952 e 1978. Neste período 969 trabalhadores tinham falecido, tendo sido também observadas tendências de aumento de silicose e tuberculose (Bon, 2006).

Estes estudos realizados ao longo dos anos foram importantes, pois forneceram a principal contribuição para os valores limites de exposição atuais para o quartzo e sílica livre.

Em 1987 Koskela citado por Santos (2005) desenvolve um estudo envolvendo a exposição a poeiras do granito. Neste estudo 1026 trabalhadores foram envolvidos e os resultados do estudo indicaram que a exposição à poeira do granito seria um fator patológico e etiológico para iniciação do cancro do pulmão e outras doenças crónicas extrapulmonares não malignas (Santos, 2005).

A atividade mineira em Portugal a partir do século XIX foi intensificada devido à primeira e segunda guerras mundiais. Nas minas da Panasqueira trabalhavam cerca de 800 homens. Contudo a partir da década de 60 inicia-se o declínio da exploração mineira, devido não só à diminuição da procura mas também devido ao "mal da mina" termo usado para designar a silicose que matou homens e jovens, pelo jornalismo da região (Monteiro, 2008).

Em 1962 foi publicada legislação nacional relativa à prevenção médica da silicose, só depois em 1967 seria contemplado o quadro legal relativo à medicina no trabalho. Com o Decreto-Lei n.º 44308 de 27 de Abril de 1962 passava a ser obrigatório a organização de serviços médicos do

trabalho nas minas. Dados epidemiológicos da época calculavam em 75mil o número de trabalhadores expostos ao risco de silicose. Atualmente os casos de silicose têm de ser notificados ao centro Nacional de Proteção Contra os Riscos Profissionais(Monteiro, 2008).

Em 1957 Soares médico na mina do Pejão efetuou um estudo sobre a luta contra a silicose na mina. Nesse estudo defende a obrigação da entidade empregadora para vigiar os trabalhadores e enumera as doenças mais comuns em geral, desta classe trabalhadora especialmente a silicose (Soares, 1957).

Em 1989 Anderson, citado por Branco (2009) compara os efeitos de poeiras de sílica e de grafite em ratos e os seus efeitos a nível da saúde. O autor observou a existência de sílica e grafite nos pulmões dos ratos durante 3 meses após a exposição a uma concentração de 100mg/m³ sem grandes efeitos para a saúde. Contudo, ressalvam que são necessários mais estudos e aprofundamento desta temática (Branco, 2009).

Em 2000 Martin desenvolveu um estudo de caso-controle, com 310 casos e 1225 controles, onde se pretendeu relacionar a exposição a poeira com o cancro em trabalhadores da indústria do gás e eletricidade em França, encontrando risco 2,3 maior de cancro de pulmão entre os trabalhadores expostos à sílica (Martin, 2000).

Na sua dissertação Gruenzner (2003) investiga a exposição à sílica cristalina nas atividades de operador de martelo, britador, perfurador, motorista de camião e pá carregadora, numa pedreira produtora de brita. Constata que nas três primeiras funções foram encontrados valores alarmantes de exposição à sílica tendo em conta os valores limites estabelecidos pela NR15 e a da ACGIH. Sugere ainda medidas de controlo através de técnicas tais como humedificação do processo, uso de ventilação e exaustora local, enclausuramento, com ar condicionado da cabine da máquina e do camião (Gruenzner, 2003).

Roselman (2004) efetuou um estudo em laboratórios dentários, entre 1994-2000. Nesse estudo observou a existência de 9 casos de silicose, devido a técnicas e às matérias utilizadas nesses laboratórios (Roselman, 2004).

Em 2006 Bon, na sua tese de doutoramento onde pretendeu avaliar as condições de trabalho e de saúde dos trabalhadores na indústria do mármore no estado de São Paulo constatou que existe exposição à sílica cristalina respirável com concentrações que ultrapassam até 54 vezes o valor de referência recomendado pelo NIOSH. Sendo que as matérias-primas mais perigosas foram as rochas silicatadas e dentro das medidas de controlo, a autora sugere com as mais eficientes as aplicadas a húmido em máquinas e ferramentas (Bon, 2006).

Ainda em 2006 é publicado o "Guia de Melhores Práticas para a proteção da saúde dos trabalhadores através do correto manuseamento e utilização da sílica cristalina e produtos relacionados" pelo European Network on Sílica, onde o objetivo é oferecer aos produtores e utilizadores de produtos e materiais que contenham sílica cristalina uma orientação segura dos produtos (Nepsi, 2006).

Num estudo recente de Branco (2009) onde a autora caracteriza a exposição a poeiras respiráveis pelos trabalhadores da indústria extrativa no sistema torva/primário observou picos de concentração de poeiras aquando da descarga na torva superiores aos valores estabelecidos pela legislação nacional.

Num estudo desenvolvido pelo Centro Regional de Saúde Pública do Norte revelou que entre 1998 e 2004 foram detetados 2003 casos de doenças ocupacionais, destes 491 casos eram doentes com silicose. Este elevado número pode dever-se à existência de minas de carvão em S. Pedro da Cova e no Pejão.

Segundo dados de 2006 do Centro Nacional de Proteção Contra Riscos Profissionais, citados pela ACT – Autoridade para as condições do Trabalho a sílica foi agente causal associado a 111 mortes por doença profissional (ACT, 2008).

A ACT desenvolve em 2008 uma campanha designada de "Grão a grão destrói-te o pulmão" cujo âmbito nacional visa informar e divulgar boas práticas a serem adotadas nos locais de trabalho onde haja por parte dos trabalhadores exposição a poeiras que contêm sílica cristalina.

Esta campanha foi desenvolvida no âmbito do Acordo Europeu entre várias entidades empregadoras e trabalhadores para a prevenção dos riscos associados à exposição à sílica livre cristalina (ACT, 2008).

Em 2009, Santos desenvolvem um estudo de revisão bibliográfica sobre a Silicose em Portugal. Foram analisados 84 processos de doentes internados nos Serviços de Pneumologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra, num período de 10 anos, cujo diagnóstico principal ou secundário era silicose. A história ocupacional dos doentes era variada, desde mineiros, trabalhadores da indústria cerâmica, construção civil, fábricas de moagem, entre outras. A forma de silicose crónica simples foi o diagnóstico mais frequente (Santos, et al., 2009).

A exposição ao quartzo respirável continua a ser uma grande preocupação na indústria sueca de fundição. Um estudo publicado por Anderson (2009) notifica que em 11 empresas avaliadas forma detetados valores acima dos valores recomendados pela legislação. Sendo também sugerido pelo autor que medidas de técnicas de eliminação de forma a reduzir as concentrações de quartzo são essenciais (Andersson, et al., 2009).

Em 2010 um estudo realizado por Huizer (2010) numa escola de construção civil constatou que o valor médio de poeira respirável é de $0,59\text{mg}/\text{m}^3$ para os professores e $1,45\text{mg}/\text{m}^3$ para os estudantes. Em 45% das amostras analisadas continham sílica cristalina respirável, contudo a exposição à sílica permaneceu abaixo do limite Holandês $75\mu\text{m}/\text{m}^3$. Sugeriu também algumas medidas de forma a evitar a exposição, tais como, evitar as operações de varrer a seco, e a presença de um sistema de extração de poeiras (Huizer, et al., 2010).

Tendo em conta o estado da investigação nesta área para a indústria extrativa observa-se ainda a necessidade de desenvolver métodos de investigação, bem como programas de formação e prevenção de trabalhadores e empresas de forma a minimizar os focos de emissão de poeira e controla-los.

2.1.2 Legislação – Poeiras

Atualmente a avaliação da exposição profissional dos trabalhadores do sector extrativo, aos agentes químicos – poeiras - no ambiente de trabalho, é uma das preocupações dos empregadores, quer pela obrigatoriedade legal como pelo risco para os trabalhadores.

Na legislação nacional este tema encontra-se regulamentado no Decreto-lei n.º 162/90 de 22 de Maio, aprova o regulamento geral de Segurança e Higiene no Trabalho em Minas e Pedreira. No artigo 147º são estabelecidas concentrações máximas admissíveis em poeiras respiráveis no ar nos locais de trabalho, expressas pelo seu teor em Sílica.

- Teor em sílica inferior a 6% - $5\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Teor em sílica inferior a 6% e 25% - $2\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Teor em sílica superior a 25% - $1\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ⁽¹⁾

No ponto 2, do mesmo artigo, é referido ainda que sempre que se verifique a ocorrência repetida de empoeiramentos com concentrações superiores às indicadas no ponto 1 as medições devem ser feitas com frequência não inferior a três meses.

Mais recentemente a Lei n.º 102/2009 de 10 de Setembro estabelece o regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, no artigo 79º onde são estabelecidas as atividades ou trabalhos de risco elevado, na alínea *m*) encontram-se considerados os trabalhos que envolvem exposição a sílica.

Na prevenção médica da silicose os diplomas nacionais que regulamentam são,

Decreto-Lei n.º 44 308/62 de 27 de Abril – Regula a Prevenção Médica da Silicose. Neste diploma encontra-se, descritos os trabalhos suscetíveis de dar origem à silicose, os que expõem os trabalhadores à inalação de poeiras contendo sílica livre, nomeadamente, trabalhos com rochas ou minerais contendo sílica livre nas minas, túneis pedreiras e outros locais.

¹ Este valor foi o considerado neste trabalho devido ao teor em sílica ser superior a 25%

Decreto-lei n.º 44 537/62 de 22 de Agosto – Regulamenta o Decreto-lei n.º 44 308/62 de 27 de Abril na organização dos serviços médicos do trabalho. Neste diploma os casos de silicose são de notificação obrigatória, mesmo para os médicos que não pertencem aos serviços de medicina do trabalho. Obrigatoriedade de organizar serviços médicos, de natureza preventiva, nos locais onde exista o risco de silicose.

Para além destes diplomas existem as normas nacionais referentes à segurança e saúde do trabalho, na sua grande maioria tiveram origem nas normas internacionais. Sendo que a norma NP 1796:2007 sobre valores limite de exposição baseia-se nos critérios estabelecidos pela ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists, e destina-se a todos os locais de trabalho que se encontram expostos a substâncias nocivas. No anexo B desta norma encontram-se definidos os valores recomendados das concentrações para partículas (PSOC) respiráveis e inaláveis 3 mg.m^{-3} e 10 mg.m^{-3} , respetivamente.

Se compararmos o valor estipulado pela norma NP 1796:2006, Tabela 4, com o valor apresentado pelo Decreto-Lei n.º 162/90 de 22 de Maio constata-se que os dois são diferentes, o que conduz a dúvidas sobre o qual se deve aplicar, contudo se devemos utilizar o valor mais preciso e rigoroso, por outro lado, o valor indicado no Decreto-Lei é o valor que prevalece para a indústria extrativa (Branco, 2009).

Contudo atualmente na Europa não existe um valor limite para a exposição profissional à sílica cristalina respirável, sendo que para cada país existe um valor diferente, não sendo possível compara-los diretamente (Nepsi, 2006).

Na Tabela 4 encontram-se alguns valores limite de exposição estipulados por algumas instituições e normas para a sílica cristalina.

Tabela 4: Valores limite de exposição para a sílica cristalina de acordo com diferentes instituições/normas

Instituição/Norma	VLE (mg.m^{-3})
Norma NP 1796 (2006) - Segurança e saúde do Trabalho, Valores limite de exposição profissional a agentes químicos	0,025
OSHA (Occupational Safety and Health Administration)	0,10 (para um tempo de exposição de 8h)
MSHA (Mine safety and Health Administration)	0,10 (para um tempo de exposição de 8h)
NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)	0,05 (para 10 horas de trabalho diário e uma semana de 40 horas)
NOHSC (National Occupational Health and safety Commission)	0,10
Health and Safety Executive	0,3

2.1.3 Ruído

No século XX após a revolução industrial e de forma particular com a invenção da máquina a vapor, começou-se a olhar para o ruído como um fator de risco para os trabalhadores. Acusticamente o ruído é constituído por várias ondas sonoras, provocando uma sensação desagradável e indesejável. Fatores como a idade, gostos pessoais, estado emocional, crenças ou modo de vida determinam também o grau de incómodo do ruído (Arezes, 2002).

Na indústria extrativa nas suas diferentes fases de operação envolvem um conjunto de trabalhos e equipamentos que geram níveis elevados de ruído. Sendo que as principais fontes de ruído passam por equipamentos moveis, como por exemplo, perfuradoras, pás carregadoras, dumpers, pás giratórias e de equipamentos fixos como as centrais de britagem.

2.1.3.1 Características do Ruído

2.1.3.1.1 Nível de pressão Sonoro e Potência Sonora

Qualquer fonte sonora emite uma determinada potência acústica, característica e de valor fixo. O nível de pressão sonora que lhe estão associadas exprime-se em Newton por metro quadrado ($N.m^{-2}$) ou pascal (Pa) e designa-se de pressão sonora.

O ouvido humano não responde linearmente aos estímulos, mas sim logaritmicamente. Assim sendo, recorre-se a uma unidade logarítmica para medir a intensidade sonora, designada por decibel (dB).

De acordo com a norma portuguesa NP 1730: 1996, o nível de pressão sonora L_p , em decibéis, é dado pela

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_o^2} = 20 \log \frac{p}{p_o} \quad \text{Equação 1}$$

p , valor eficaz da pressão sonora, em pascal;

p_o , valor eficaz da pressão sonora de referência ($2 \cdot 10^{-5} Pa$)

2.1.3.1.2 Intensidade sonora

Uma máquina em funcionamento emite um certo nível de vibração, a potência sonora será então a quantidade de energia acústica produzida por unidade de tempo. A essa potência corresponde uma intensidade sonora que é a densidade do fluxo de energia acústica emitida por unidade de tempo (Nunes, 2006),

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_o} \quad \text{Equação 2}$$

L_i , nível de intensidade sonora dB

I , intensidade sonora $W.m^{-2}$

I_o , intensidade sonora de referência $10^{-12} W.m^{-2}$ (Miguel, 2010)

2.1.3.1.3 Frequência e Espectro sonoro

O número de flutuações ou períodos por segundo define a frequência ou altura do som (Miguel, 2010).

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Equação 3}$$

em que,

f é a frequência em hertz (Hz)

T é o período, em segundos (Miguel, 2010)

A maioria dos ruídos industriais não são sons puros, mas sim complexos. Deste modo, para se ter a exata noção de composição do ruído é necessário determinar o nível sonoro para cada frequência. Sendo que esse tipo de análise designa-se de análise espectral e costuma ser representada graficamente num sistema de eixos onde as frequências se situam no eixo dos xx e os níveis sonoros no eixo dos yy (Arezes & Miguel, 2009).

A escala de frequências é usualmente dividida em 3 grupos: infrassom (abaixo de 20Hz), audível e ultrassons (acima de 20 000Hz).

Dentro da gama audível, o nosso ouvido percebe as frequências de uma forma não linear, encontrando-se dividida em 10 grupos de frequências designados por oitavas. Cada oitava por sua vez, encontra-se subdividida em 3 grupos de terços de oitava (Miguel, 2010).

2.1.3.1.4 Tipos de ruído

O ruído segundo a dependência do tempo, pode ser classificado em estacionário ou não estacionário, sendo que a principal diferença é, no primeiro existem flutuações de nível mínimas e no segundo o nível varia significativamente durante o período de análise (Arezes, 2002) (Miguel, 2010).

Segundo (Miguel, 2010) e (Arezes, 2002) o ruído não estacionário pode ser subdividido em três tipos:

- Flutuante – o nível varia continuamente e numa extensão apreciável durante o tempo de análise. Por exemplo, máquinas que funcionam sem interrupção;
- Intermitente – o nível desce abruptamente para o nível de ruído de fundo várias vezes, durante o tempo de análise, mantendo-se constante, durante 1 segundo ou superior. Por exemplo, a passagem de um veículo;
- Impulsivo – um ou mais impulsos violentos com duração inferior a 1segundo. Por exemplo, uma explosão.

O ruído impulsivo por sua vez pode ser:

- Isolado;
- Quase estável (Miguel, 2010).

2.1.3.2 Audibilidade

A sensibilidade de um indivíduo a um determinado ruído depende das características do mesmo, isto é, da intensidade, do espectro e da frequência. Segundo Miguel (2010) atendendo às características do ouvido humano, este reage de forma diversa aos sons de diferentes frequências por um mesmo nível de pressão sonora.

Na norma ISO 226:2003 encontram-se as linhas isofónicas, ver Figura 3.

As linhas isofónicas ou de igual nível de audibilidade, que traduzem linhas de igual nível de audibilidade a partir do estudo estatístico das variáveis na sensação sonora experimentada por um elevado número de jovens com audição normal (Nunes, 2006).

Analisando estas linhas, observa-se que, um som com a frequência 1000Hz e um nível sonoro de 70 dB terá um nível de audibilidade de 70 fones, no entanto, para os mesmos 70 dB a 63Hz corresponde apenas a 56 fones (Miguel, 2010).

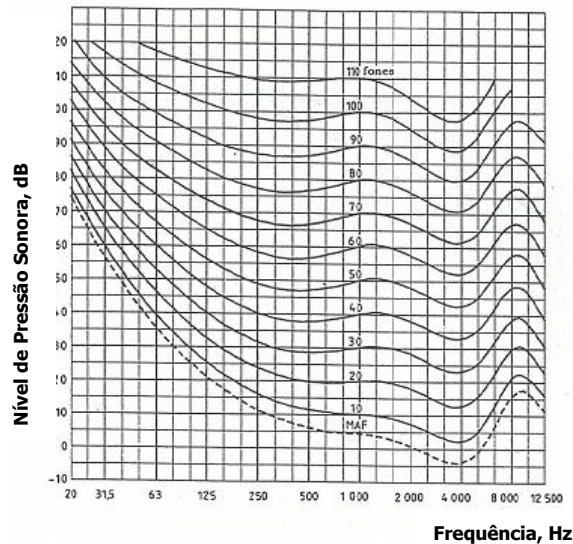


Figura 3: Representação gráfica das linhas isofônicas normais para sons puros (MIGUEL, 2010)

2.1.3.3 Curvas de ponderação

Estas curvas surgiram devido ao facto do ouvido humano não ser sensível do mesmo modo ao som em todo o espectro de frequências. Um som de baixa frequência é geralmente menos perceptível do que um de alta frequência.

Várias curvas, Figura 4, foram propostas para que um aparelho de medição se comporte como o ouvido humano.

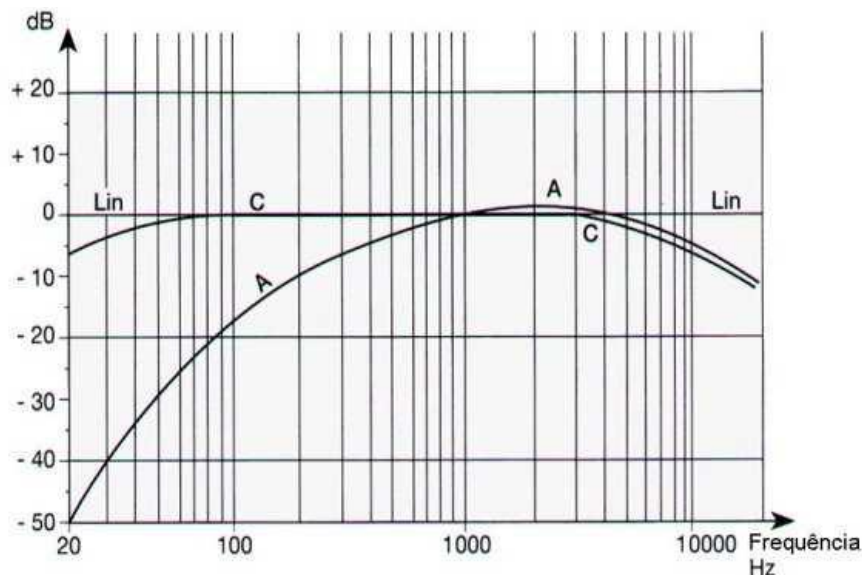


Figura 4: Curvas de ponderação normalizadas A, C e Linear (Prof2000)

Existem quatro tipos de filtros normalizados, A, B, C, D que correspondem, de uma forma não limiar, as diferentes frequências (Miguel, 2010). A malha de ponderação mais importante é a A, pois é a que traduz aproximadamente a resposta do ouvido humano.

2.1.3.4 Anatomia e Fisiologia da Audição

O ouvido humano não é mais do que um recetor de sons, uma vez que converte as ondas de pressão em sinais sonoros que são transmitidos ao cérebro.

Os sons são captados pela orelha e conduzidos pelo tubo auditivo até à membrana do tímpano, estes três elementos constituem o ouvido externo.

Na parte interna do tímpano fica o ouvido médio, constituído por três ossículos, o martelo, a bigorna e o estribo. As ondas sonoras que chocam com o tímpano permitem que este vibre. Cada vibração provoca a deslocação do martelo, este transmite à bigorna e por sua vez ao estribo, que se encontra na janela oval onde passará a informação ao ouvido interno.

O ouvido interno encontra-se no interior do crânio e é responsável pela transformação de energia mecânica numa forma de energia capaz de ser transmitida pelas fibras nervosas até ao cérebro (Miguel, 2010).

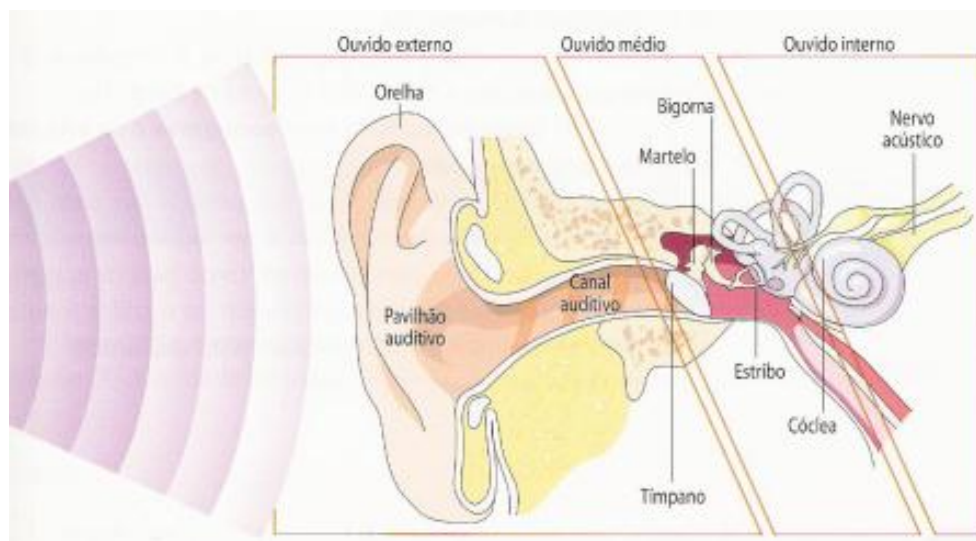


Figura 5: Esquema do corte do aparelho auditivo humano (Prof2000)

2.1.3.5 Ação do ruído sobre o aparelho auditivo

De todos os riscos para a saúde o ruído é certamente o que se encontra mais presente, afetando essencialmente o aparelho auditivo, mas com repercussões para todo o organismo. Como é sabido, mesmo sem exposição ao ruído, o homem vai perdendo a audição com a idade, esta perda designa-se por presbiacusia.

Dependendo das características individuais e de outros fatores que integram o local de trabalho a exposição ao ruído pode causar os seguintes efeitos:

Trauma acústico

O trauma acústico ocorre após a exposição a um ruído de elevada intensidade como uma explosão (Arezes, 2002). A descompressão brusca e violenta pode acarretar dor e rutura da membrana timpânica no ouvido médio (Bernardi, 2006).

Deslocamento Temporário dos Limiares Auditivos ou Temporary Thershold Shift (TTS)

O deslocamento temporário do limiar auditivo, conhecida por perda auditiva ou fadiga auditiva é uma alteração nos limiares auditivos temporários após a exposição a um ruído intenso durante um período de tempo reduzido (Mergulhão, 2009).

Deslocamento Permanente dos Limiares Auditivos ou Permanent Thershold Shift (PTS)

O deslocamento permanente dos limiares auditivos também conhecido como, perda auditiva ocupacional, surdez profissional e perda auditiva induzida pelo Ruído (PAIR)(Bernardi, 2006).

É um distúrbio auditivo que afeta muitos trabalhadores expostos a ambientes de trabalho ruidosos (Branco, 2009). Sendo considerada como uma das doenças mais comuns, permanente, irreversível e quase sempre bilateral e simétrica, geralmente afetando as frequências mais altas (3000Hz, 4000Hz, ou 6000Hz) e, seguidamente, espalha-se para as mais baixas (500Hz, 1000Hz, ou 2000Hz) (Nunes, 2006). Afetando essencialmente, as células ciliadas externas e internas no órgão de Corti (Arezes & Miguel, 2009).

A PAIR (perda auditiva induzida pelo ruído) é consequência da exposição prolongada sendo função de dois aspetos fundamentais, como as características do ruído (intensidade, frequência, tempo de exposição e natureza do ruído) e suscetibilidade individual (sexo, idade, doenças do ouvido) (Nunes, 2006).

No entanto, os fatores genéticos, a idade, toxinas, medicamentos e doenças também podem contribuir para as perdas auditivas permanentes(Arezes & Miguel, 2009).

De acordo com Bell, citado em (Miguel, 2010), a evolução das perdas auditivas pode ser descrita em 3 fases, Figura 6.

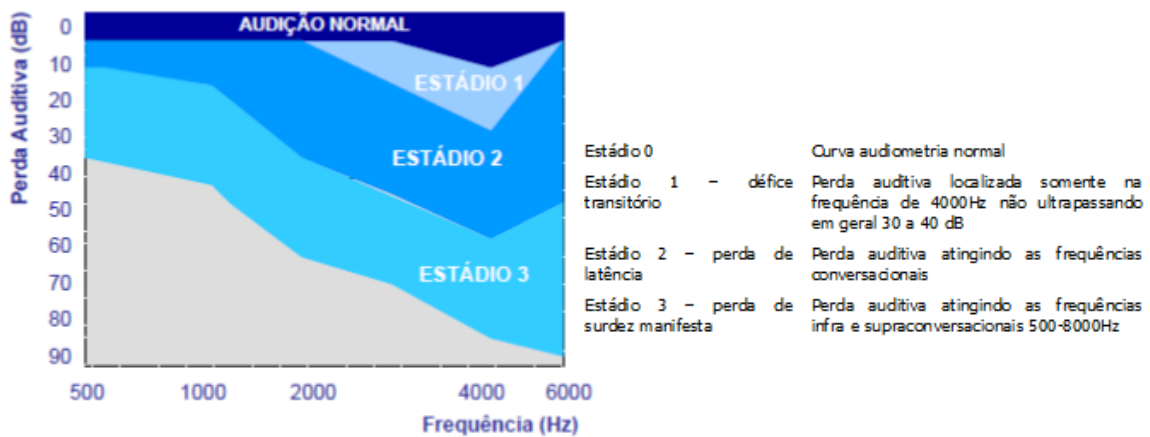


Figura 6: Evolução da surdez profissional (adaptado (Arezes & Miguel, 2009))

Segundo a Norma NP 1733:1981 o risco de PAIR varia, com a intensidade e a duração da exposição, na Tabela 5 encontra-se essa variação.

Tabela 5: Risco de perda de audição em função da exposição ao ruído, por anos de exposição

Nível Sonoro contínuo equivalente dB (A)	Anos de exposição									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
90	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
95	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
100	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
105	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
110	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
115	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47

Adaptado da norma NP 1733:1981

Zumbido ou Tinnitus

Também conhecido como zumbido ou acufeno, é um sintoma e não uma doença. Apresenta-se como um som que é percebido na ausência de estímulos sonoros denominado como *ringing of the ears* (Tzaneva, 2000). Sendo uma queixa constante das pessoas que possuem lesões auditivas provocadas pelo ruído (Mergulhão, 2009).

Os acufenos podem ter um carácter temporário, contudo, existem situações em que estes se prolongam, tornando-se frequentes. A causa destes não é totalmente compreendida, presumindo-se que se deva a uma combustão espontânea dos recetores neurais (Arezes, 2002).

Num estudo realizado no Reino Unido em 2003, estimou-se que 153000 homens e 26000 mulheres tinham problemas graves de audição e que cerca de 266000 homens e 84000 mulheres sofriam de tinnitus persistente (AESST, 2006).

2.1.3.6 Ação do ruído sobre o organismo em geral

O ruído é um dos problemas mais difundidos no local de trabalho. Segundo Miguel (2010) os efeitos do ruído podem ser divididos em fisiológicos e psicológicos (Miguel, 2010).

No relatório da OMS (1999) formam reportados alguns dos efeitos observados nos seres humanos, tais como fadiga, nervosismo, reações de stress, ansiedade, falta de memória, cansaço, irritabilidade, entre outros.

Sousa (2006) refere que a exposição contínua ao ruído interfere na comunicação ou pode causar problemas à saúde e provocar sinais patológicos, como perda de atenção, irritabilidade, fadiga, dores de cabeça, aumento da frequência cardíaca e pressão arterial, vasoconstricção periférica, aumento da secreção e da mobilidade gástrica, contração muscular, entre outros, quer para o cidadão comum quer para muitos grupos profissionais mais expostos ao ruído (Sousa, 2006).

Barbosa (2009) refere que alguns autores consideram que o ruído é um fator de perturbação individual, agindo sobre o organismo humano de diversas formas, prejudicando não só o funcionamento individual como o comportamento mental e física do trabalhador (Barbosa, 2009). É também referido por Stansfeld (2003) que o ruído interfere no desempenho de tarefas complexas, modifica comportamentos sociais e causa incómodo (Stansfeld, 2003)

Em certas atividades, a exposição a níveis elevados de ruído durante o período de trabalho interfere com a concentração e capacidade de desempenhar tarefas físicas e mentais conduzindo a uma diminuição da produtividade e da qualidade do produto (Mergulhão, 2009).

Sendo que o ruído não se limita apenas a deteriorar a audição, pode também ser causador de acidentes. Elevados níveis de ruído dificultam a audição e a comunicação entre os trabalhadores, aumentando a probabilidade de ocorrência de acidentes (Costa, 2009).

Na Tabela 6 encontram-se alguns dos valores críticos, segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) e os respetivos efeitos no ser humano.

Tabela 6: Valores críticos e efeitos no ser humano

Nível de pressão Sonora (dB)	Efeitos no ser humano
30	Dificuldade em conciliar o sono Perda de qualidade do sono
40	Dificuldade na comunicação verbal
45	Provável interrupção do sono
50	Incomodo diurno moderado
55	Incomodo diurno forte
65	Comunicação verbal extremamente difícil
75	Perda de audição a longo prazo
110-140	Perda de audição a curto prazo

Adaptado de (AMDE)

2.1.3.7 Ruído e outros agentes físicos

Trabalhadores que se encontram expostos a substâncias ototóxicas e a ruído forte correm mais riscos de vir a ter problemas de audição do que trabalhadores expostos ao ruído ou a estas substâncias separadamente (AESST, 2005). Contudo a associação entre os efeitos das substâncias químicas e as alterações auditivas é pouco estudada, sendo que, a maioria dos casos relacionados com a perda de audição, são atribuídas ao ruído e não as substâncias químicas (Campos, 2011).

Outro agente físico que se encontra associado ao ruído em meio ocupacional é o ambiente térmico extremo, frio ou quente, sendo que a sua associação com os efeitos do ruído é menos evidente, todavia, os resultados não fornecem evidências relevantes (Arezes, et al., 2009).

As vibrações são outro agente físico cuja associação ao ruído pode ter efeitos cumulativos. Estudos realizados em laboratório onde se avaliaram os efeitos do ruído e vibrações na audição encontraram evidências claras de um efeito danoso, contudo estudos *in loco* não obtiveram os mesmos resultados, sendo então necessária a realização de mais estudos sobre esta temática (Izumi, 2006).

Murata (1994) citado por Fernandes (2002) examinou os efeitos da vibração no sistema nervoso central e periférico, tendo concluído que a exposição combinada a stressores como o ruído afeta o sistema nervoso e periférico do ser humano (Fernandes, 2002).

2.1.3.8 Perspetiva Histórica

Uma das primeiras referências escritas sobre o efeito do ruído foi feita em 600a.C por Phínio - o Velho na sua obra *Naturalis* onde faz referências ao ensurdecimento de pessoas que viviam perto da catarata do Nilo (Azevedo, 2004).

Nos princípios do século XX Witmaack efetua os primeiros testes em laboratório em cobaias, tendo descrito a exposição a ruído breves e de alto nível de pressão sonora, estudando os efeitos histopatológicos (Almeida, 2000). Sasonoff e Yoshi foram outros investigadores que também se distinguiram com as suas conclusões obtidas por experimentação (Dias, 2001).

Bunch em 1937 citado por Almeida (2000) apresenta um estudo onde define as características auditivas e clínicas das disacusias (perdas de audição). Destaca a natureza insidiosa e refere que a frequência mais gravosa de lesões é 4000Hz e a sua tendência de evolução atingindo outras frequências circunvizinhas (Almeida, 2000).

Uns anos mais tarde em 1961 Ward citado por Santos (2007) mostraram um estudo retrospectivo feito em grupos de homens expostos a ruído industrial por mais de 5 horas durante 35 anos em alguns dos casos. Foram encontradas as mudanças ocorridas no limiar auditivo na frequência de 4000Hz (Santos, 2007).

Taylor em 1965 realizou um estudo sobre a audição de mulheres tecelãs, expostas a ruído intenso. As trabalhadoras foram submetidas a anamnese, avaliação otológica e audiometria tonal limiar. Compararam-se os resultados obtidos com outras mulheres não expostas ao ruído. O autor observou a perda da acuidade auditiva nos primeiros 10 a 15 anos de exposição, seguido por um período de cerca de 10 anos no qual a deterioração é muito pequena (Taylor, 1965).

Em 1968 Marone realiza um estudo sobre as disacusias ocupacionais e define as características da lesão audiométrica e clínica. Propõe o uso da Tabela de Fowler como critério de avaliação da perda incapacitante (Almeida, 2000). Esta tabela calcula a percentagem relativa a cada perda auditiva nas frequências 500, 1000 e 2000Hz. Atualmente, esta tabela é considerada unicamente como valor histórico não sendo utilizada.

Já mais perto de nós, em 1990, Úlehlová citado por Almeida (2000) estudou os ossos temporais de 41 mineiros com lesão audiológica de diversas severidades. Destes 41 casos, 6 foram selecionados para serem comparados com os achados audiométricos de testes realizados entre duas semanas até três anos antes das suas mortes. Todos os 6 são expostos a ambientes ruidosos durante a sua vida ocupacional. Efetuou-se a contagem completa de células ciliadas de

um extremo ao outro da membrana basilar. Observou-se que nos ossos temporal estudados existiam áreas de total destruição do órgão de Corti atingindo a parte basal. Estes dados questionam a noção comum de que a destruição do epitélio do órgão de Corti resultará em perda auditiva (Almeida, 2000).

Para além das lesões físicas do ruído este pode provocar no ser humano alterações da sua capacidade de concentração. Murthy (1995) provou através de testes realizadas com o pessoal de um bloco operatório que o aumento dos níveis sonoros reduz a eficiência mental e a memorização (Murthy, 1995).

Um estudo realizado por Seshagiri em 1998, pretendeu-se avaliar o ruído a que se encontram expostos os motoristas de camião, durante 8 horas de trabalho. O nível sonoro equivalente variou de 78-89 dB (A) com uma média de 82,7 dB (A). O autor avaliou algumas condições operatórias, sendo que o conduzir com as janelas fechadas e rádio desligado obteve os resultados mais reduzidos para os níveis sonoros; conduzir com a janela aberta aumenta a exposição média de 1,3dB; conduzir com a janela aberta e com o rádio aumenta 3,9dB. A exposição que os motoristas sofreram excedeu o valor limite permitido pela legislação, ou seja, os 85 dB (A) durante as 8 horas, quando conduziam com o rádio ligado e janela aberta (Seshagiri, 1998).

Arezes em 2002 publica um artigo onde aborda questões relacionadas com a exposição ao ruído, nomeadamente, as características dessa exposição, a conservação da audição nas empresas e a evolução legislativa sobre esta temática no país. Como principais conclusões, destaca o grande número de trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora elevados e refere ainda a grande necessidade de diversificar os tipos de prevenção adotados, sendo necessário o desenvolvimento de muito trabalho de investigação visando a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores (Arezes, 2002).

Em 2004 Matos desenvolve um estudo em postos de trabalho na indústria extrativa, onde se pretendeu fazer uma análise do risco de exposição ao ruído nos diferentes postos de trabalho e propor medidas de minimização ou eliminação do ruído. Os processos produtivos avaliados foram, perfuração, transformação, carga, transporte e serviços de apoio. A autora verificou que a operação de perfuração é onde se encontra a maior percentagem de trabalhadores, 66%, expostos; nas operações de transformação 26% dos trabalhadores são expostos com níveis de ruído superiores ao valor limite de 90dB (A); a operação de carga e transporte são as que possuem um menor número de trabalhadores expostos sujeitos a níveis superiores a 90 dB (A); seguindo-se as operações de serviços de apoio (Matos, 2004).

Ainda neste ano, NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) elabora um guia onde reavalia critérios e reafirma o valor limite de exposição 85 dB (A) para a exposição ocupacional ao ruído já estabelecido em 1972. Para trabalhadores que se encontrem expostos a um valor igual ou superior aos 85 dB (A) recomenda um programa de prevenção que inclui a avaliação da exposição ao ruído, utilização adequada de protetores auditivos, avaliações audiométricas, educação e motivação (Branco, 2009).

Em 2004 é apresentado um trabalho realizado em Lisboa e Vale do Tejo por Leal e Fradique que veio reforçar a necessidade da diminuição do ruído através da introdução de valores limite de exposição inferiores aos praticados até aquela data. O resultado deste estudo mostra que dentro das atividades económicas estudadas, indústria extrativa, alumínio, madeira e metalomecânica era a indústria extrativa que apresentava os valores mais altos quer em termos de pessoas expostas ao ruído quer a níveis de ruídos acima do valor limite recomendado (Branco, 2009).

Um anos mais tarde Neitzel (2005) publica um artigo onde apresenta uma análise dos dados sobre o ruído e protetores auriculares entre trabalhadores da construção civil. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de uma melhoria nos programas de conservação auditiva e controlo de fonte de ruído neste setor (Neitzel, 2005).

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho em 2005 lançou uma campanha de combate ao ruído a nível Europeu designada por "Calem esse Ruído". Cerca de 60 milhões de trabalhadores europeus estão expostos no local de trabalho a níveis de ruído perigosos durante

pelo menos um quarto do tempo de trabalho e a perda de audição induzida pelo ruído continua a ser responsável por um terço das doenças profissionais (AESST, 2005).

Maia em 2008 na sua tese mestrado avalia a influência do uso de proteção individual auditiva na percepção de estímulos acústicos. Os resultados obtidos permitiram verificar que os protetores, quer do tipo passivo, quer do tipo ativo, dificultam a localização auditiva da fonte sonora (sirene) e, como tal, dever-se-á equacionar a utilização deste tipo de protetores em locais de trabalho em que existam dispositivos de alarme semelhantes. Com este estudo verificou-se que a principal dificuldade que surgia em todas as situações (com e sem protetores auditivos) foi a identificação da distância da fonte sonora (Maia, 2008).

Em 2009 Arezes apresenta um trabalho cujo objetivo foi o de avaliar a adequação dos dispositivos de proteção auditiva. Para tal, comparou dados de atenuação de 50 dispositivos de proteção auditiva, assim como 11 tipos diferentes de ruído e 4 metodologias diferentes. A aplicação dos diversos métodos considerados e a comparação das estimativas obtidas parecem demonstrar que existem diferenças significativas entre os níveis de exposição estimados com os diferentes métodos analisados (Arezes, et al., 2009)

No mesmo ano Branco (2009) apresenta um estudo desenvolvido em pedreiras cujos valores obtidos estão classificados como risco intermédio. A autora verificou que as principais fontes de ruído existentes nas explorações são as seguintes: momentos de descarga dos dumpers na torva, funcionamento do alimentador e britador.

Recentemente, num estudo publicado por Landen (2010) foi feita uma descrição da exposição ao ruído por parte de trabalhadores da indústria mineira. Com este estudo a autora constatou que 69% trabalhadores encontravam-se expostos a níveis superiores aos estabelecidos pelo NIOSH e 41% encontravam-se acima do valor estabelecido pelo Mine Safety and Health Administration. Como conclusões gerais, a autora define que esta classe de trabalhadores encontra-se exposta a um nível de ruído excessivo e demonstram o uso inadequado de protetores auditivos, sendo que programas de proteção auditiva bem elaborados podem conduzir a uma redução das lesões (Landen, 2010).

Observa-se que a tendência ao longo destes últimos anos sobre o estudo do ruído é abordar temáticas sobre a necessidade continua de minimizar os níveis de ruído elevado, medidas preventivas e utilização de protetores auditivos bem como a análise correlação com os problemas de saúde verificados em trabalhadores expostos a níveis de ruído. Assim sendo, tendo em conta o estado da arte e investigações desenvolvidas verifica-se que a evolução da investigação sobre a temática ruído ocorra preferencialmente nas áreas, da avaliação dos protetores auditivos, desenvolvimento de ações de formação e informações.

2.1.4 Legislação - Ruído

A legislação nacional no que se refere à exposição ocupacional ao ruído encontra-se ligada à própria legislação sobre as condições de trabalho. Assim sendo, deve-se referir, primeiramente a Portaria nº 53/71 de 3 de Fevereiro, que aprova o Regulamento Geral de Segurança e Higiene do trabalho nos estabelecimentos industriais.

A exposição ao ruído e aos outros agentes físicos é ainda abordada no Decreto – Lei nº 347/93 de 1 de Outubro e na Portaria nº 987/93 de 6 de Outubro, ambos relativos às Prescrições mínimas de Segurança e Saúde nos locais de trabalho.

Em 2006 foi publicado pelo Ministério do Trabalho o Decreto – Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro que transpõe para o direito interno a Diretiva nº 2003/10/CE de 6 de Fevereiro de 2003, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devido ao ruído.

O presente diploma trás algumas novidades, nomeadamente, passa a não ser permitida a exposição pessoal ou semanal dos trabalhadores a níveis de ruído iguais ou superiores a 87 dB (A) ou a valores de pico iguais ou superiores a 140 dB (C). Substitui o denominado “nível de ação” por dois níveis distintos, designados por “valores de ação superior e inferior” que em caso de ultrapassagem, implicam a tomada de medidas preventivas adequadas.

Na Tabela 7 encontram-se estabelecidos os valores limite de exposição e valores de ação, no que se refere à exposição pessoal diária ou semanal.

Tabela 7: Valores de exposição pessoal ou diária segundo o Decreto – Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro

	$L_{EX, 8h}$	$L_{C, pico}$
Valores de ação inferior	80 dB (A)	135 dB (C) equivalente a 112 Pa
Valores de ação superiores	85 dB (A)	137 dB (C) equivalente a 140 Pa
Valores limites de exposição	87 dB (A)	140 dB (C) equivalente a 200 Pa

No Decreto – Lei nº 162/90 de 22 de Maio, no artigo 149º encontra-se estabelecido que nos locais de trabalho devem ser adotadas medidas adequadas à eliminação, redução e propagação dos ruídos, não podendo ser ultrapassados os valores de 85 dB (A) para o ruído e de 200Pa para a pressão acústica instantânea não ponderada. Sendo que sempre que se verifique que as medidas técnicas de proteção aplicáveis não forem suficientes, os trabalhadores devem usar protetores auriculares adequados e limitar-se se necessário o tempo de exposição ao ruído.

Na determinação do valor limite de exposição deve-se ter em conta a atenuação proporcionada pelos protetores auditivos, sendo que os valores de ação não devem ter em conta os efeitos decorrentes da utilização de protetores (Miguel, 2010).

O cálculo do nível de exposição diária, média pesada dos níveis de exposição para um dia de trabalho de 8 horas é determinada pela equação,

$$L_{EX 8h} = L_{Aeq, Te} + 10 * \log \frac{t_e}{t_0} \quad \text{Equação 4}$$

onde t_0 é a duração de referencia de 8 horas e t_e a duração diária de exposição pessoal de um trabalhador ao ruído, durante o trabalho (Miguel, 2010).

$$L_{Aeq} = 10 * \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_i} 10^{\frac{LpAi}{10}} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde $LpAi$ – nível de pressão sonora em dB (A) para amostra i

N – número total de amostras (Miguel, 2010)

Na Tabela 8 encontram-se exemplos dos limites de exposição ocupacional ao ruído de acordo com as normas dos diferentes países (Candido, 2011).

Tabela 8: Limite de exposição ocupacional ao ruído

Pais	Nível de ruído dB (A)	Tempo de exposição (h) (tempo de exposição diária ou semanal)	Nível máximo dB (A)	Nível de ruído de impacto dB (A)
França	90	40		
Bélgica	90	40	110	140
Dinamarca	90	40	115	
USA OSHA	90	8	115	140
USA NIOSH	85	8		

2.1.5 Vibrações

Com a revolução industrial surgiram as primeiras máquinas que por sua vez trouxeram a vibração, um agente físico, nocivo que afeta os trabalhadores, com maior ou menor perturbação no bem-estar, podendo provocar lesões irreversíveis e incapacidades nas pessoas expostas.

Os trabalhadores do sector da indústria extrativa encontram-se expostos a vibrações ocupacionais, que podem ser transmitidas por diferentes tipos de máquinas, das quais se destacam, dumpers, pá carregadora, martelos pneumáticos, crivos, britadores, fragmentadores, compressores, entre outros.

2.1.5.1 Conceitos físicos das vibrações

A definição de vibração não é mais do que o movimento oscilatório, sinusoidal ou irregular, de uma massa em torno de um ponto de referência.

As vibrações podem ser caracterizadas quanto ao tipo, amplitude, frequência e duração (Griffin, 1996). Na Figura 7 encontra-se esquematizado os parâmetros característicos de um movimento sinusoidal.

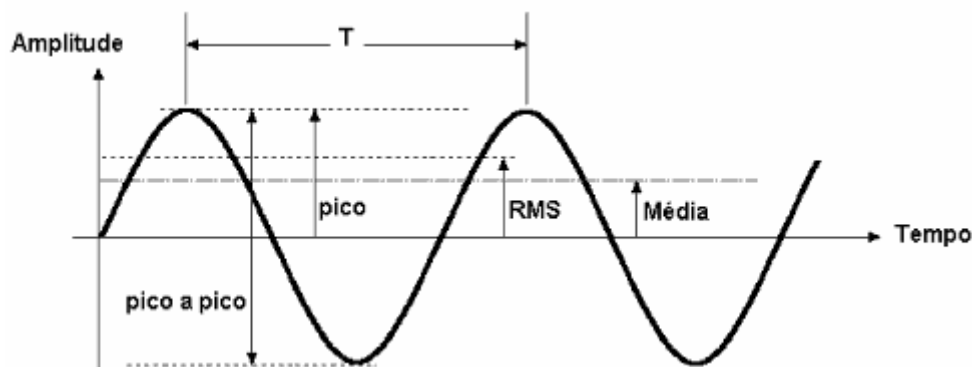


Figura 7: Parâmetros característicos de um movimento sinodal (Ximenes, 2006)

A frequência do movimento é o número de ciclos por unidade de tempo, a unidade é o Hertz (Hz) e afeta a extensão da transmissão da vibração ao corpo humano (Milho, 2009). O inverso da frequência dá-se o nome de período de vibração T e mede-se em segundos (Miguel, 2010).

$$f = \frac{1}{T}$$

Equação 6

O valor de pico indica o valor máximo da amplitude, não traz qualquer informação sobre a duração ou tempo de movimento, sendo utilizado na indicação de níveis de impacto de curta duração.

O valor da raiz média quadrática (RMS) ou valor eficaz (m/s^2) é a raiz quadrada dos valores quadrados médios do movimento, mostra a energia contida no movimento vibratório, mostrando o potencial destrutivo da vibração (Ximenes, 2006).

$$RMS = X \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Equação 7

X, amplitude de pico

Quando se refere um período de tempo significativo o valor eficaz denomina-se de aceleração equivalente, dado pela (Costa, 2009)

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

Equação 8

a_{eq} , aceleração equivalente

T, tempo de medição

a (t), aceleração instantânea correspondente a um tempo t

O valor pico a pico (mm), indica a dupla amplitude da onda, fornecendo informações relativas ao deslocamento vibratório da máquina sendo parte crítica na tensão máxima de elementos de máquina.

A duração é a medida de exposição no tempo, sendo que a resposta do ser humano depende do tempo de exposição às vibrações (Milho, 2009).

2.1.5.2 Efeitos das vibrações no corpo humano

O ser humano apercebe-se das vibrações dentro de uma gama de frequências que vai dos 0.1 aos 1000Hz. Os efeitos da vibração no corpo humano estão relacionados com a frequência envolvida, assim como, a magnitude, direção, ponto de aplicação, postura corporal, tensão musculares, variabilidade individual, tempo de exposição e variáveis ambientais (Nunes, 2006).

Cada uma das partes do corpo humano, quando submetida a vibração, não vibra da mesma forma. Para analisar os efeitos das vibrações no ser humano, apesar de ser um sistema complexo, pode ser modelado como um sistema linear, aproximado a um sistema massa-mola-amortecedor (Anflor, 2003).

O corpo humano possui uma frequência natural, quando a frequência de uma excitação externa atinge o valor da frequência natural, ocorre a ressonância, aumentando assim os efeitos das vibrações sobre a saúde (Savioneck, 2010).

Na Figura 8 apresenta-se um modelo para representar as frequências de ressonância do corpo humano, sujeito a vibração vertical.

O corpo inteiro é mais sensível na faixa de frequências 4-8Hz, que corresponde à frequência na direção vertical, a gama 1-2 Hz correspondem as frequências na direção x e y (Ximenes, 2006).

A gama de frequências, 1-80 Hz é considerada a mais danosa, provocando lesões nos ossos, juntas e tendões; as que se situam entre 30-200 Hz provocam doenças cardiovasculares; acima dos 300 Hz são responsáveis por dores agudas e distúrbios (Ximenes, 2006). Na Tabela 9 encontram-se alguns dos efeitos das vibrações sobre o corpo humano segundo a frequência de vibração.

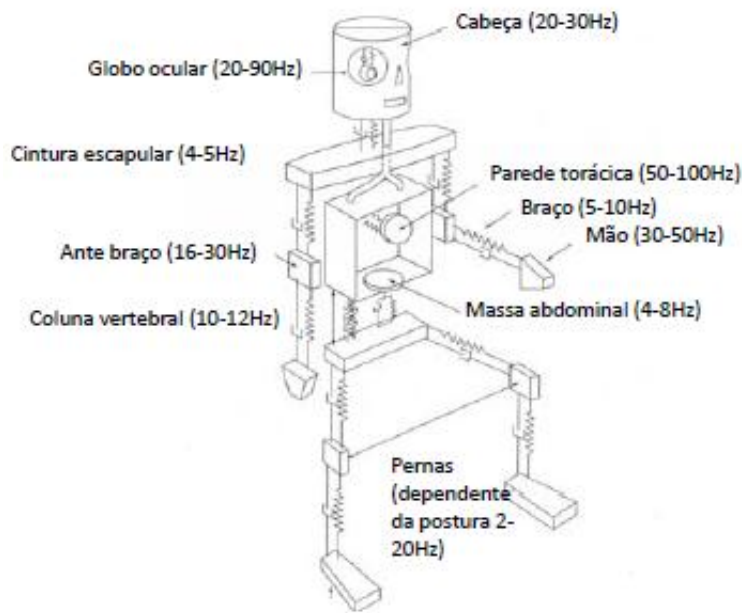


Figura 8: Sistema mecânico simplificado do corpo humano adaptado e frequências de ressonância nas várias partes do corpo humano (Costa, 2009)

Tabela 9: Efeitos das vibrações sobre o corpo humano segundo a frequência de vibração

Frequência de vibração	Origem da vibração	Efeitos sobre o organismo
Vibrações de muito baixa frequência (< 1 Hz)	Transportes: aviões, comboios, barcos, automóveis	Estimulam o labirinto do ouvido esquerdo; Perturbam o Sistema Nervoso Central "mal dos transportes"; Podem produzir náuseas e vômitos.
Vibrações de baixa frequência (1 a 20 Hz)	Veículos de transporte de mercadorias e passageiros; Veículos industriais; Tratores e máquinas agrícolas; Maquinaria e veículos de obras públicas	Patologias diversas ao nível da coluna vertebral, lombalgias lombociáticas, hérnias; Agravam lesões raquidianas menores e incidem sobre perturbações devidas a más posturas; Sintomas neurológicos: variação de ritmo cerebral, dificuldade de equilíbrio, inibição de reflexos; Perturbações na visão: diminuição da acuidade visual.
Vibrações de alta frequência (20 a 1000 Hz)	Ferramentas manuais rotativas alternativas ou percutoras, tais como polidoras, lixadoras, motosserras, martelos pneumáticos, etc	Perturbações osteoarticulares observáveis radiologicamente tais como: artroses, lesões de pulso; Perturbações tendinosas; Afeções angioneurológicas da mão que acompanham perturbações na sensibilidade - síndrome de Raynaud; Aumento da incidência de afeções do aparelho digestivo (hemorroides, dores abdominais, obstipação).

Adaptado (Prof2000)

Matoba (1994) citado por Fernandes (2002) refere que alguns pesquisadores têm reunido informações sobre os efeitos fisiológicos e psicológicos das vibrações sobre o trabalhador, como perda de equilíbrio, falta de concentração e visão turva (Fernandes, 2002). Para além destes efeitos as vibrações podem afetar o conforto, reduzir o rendimento e originar desenvolvimento de doenças quando a exposição é intensa (Ximenes, 2006).

2.1.5.2.1 Vibrações corpo inteiro

As vibrações de corpo são de baixa frequência e alta amplitude (1-80 Hz) são transmitidas através dos pés de uma pessoa em pé, através das nádegas de uma pessoa sentada ou através da área de suporte de uma pessoa deitada (Miguel, 2010).

O risco devido às vibrações depende de 4 fatores, intensidade, frequência, direção e do tempo de exposição (Nunes, 2006). Para avaliar este risco, recorre-se, a um sistema de coordenadas ortogonais, Figura 9, definido para medição das vibrações incidentes no corpo humano, este sistema é centralizado em relação ao tronco.

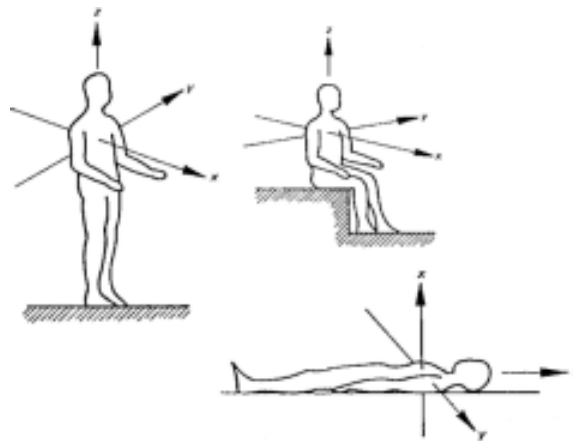


Figura 9: Eixos de vibração para o sistema Vibração Corpo Inteiro (ISO 2631-1:1997)

A Figura 10 mostra as curvas de ponderação, nas quais a amplitude é multiplicada para cada frequência, de modo, a simular os efeitos que causam na saúde, conforto ou percepção (Izumi, 2006).

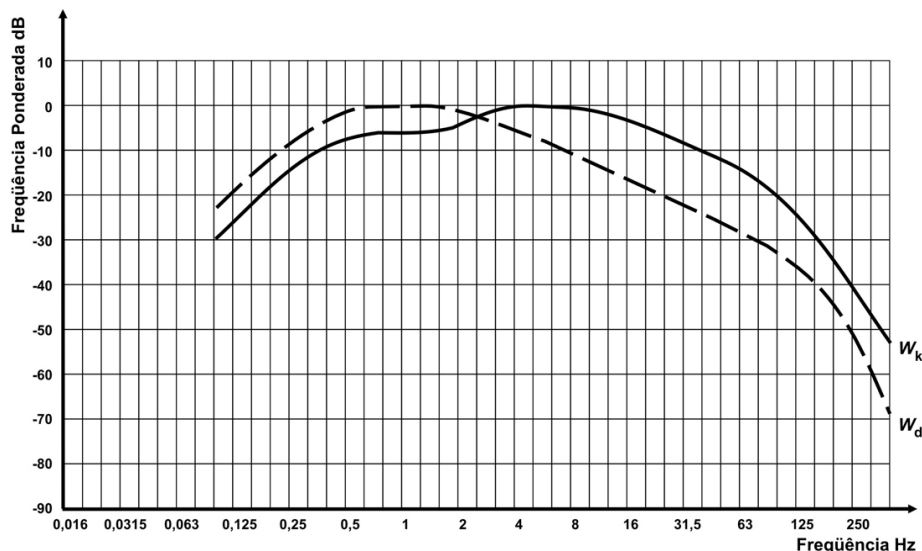


Figura 10: Curvas de Ponderação usuais para VCI (norma ISO 2631-1)

A curva W_k refere-se às vibrações no eixo z e a curva W_d aos eixos x e y. A seleção das curvas de ponderação, a utilizar durante a avaliação depende do efeito que pretendemos estudar ou dos eixos de entrada da vibração no corpo humano (Costa, 2009).

Para avaliar os efeitos das vibrações na saúde dos trabalhadores recorre-se ao guia de saúde contido no Anexo B da ISO 2631, Figura 11.

A zona assinalada a cinzento indica o potencial de risco à saúde, exposições abaixo desta zona, os efeitos na saúde encontram-se claramente documentados, acima desta zona indica-se prováveis riscos na saúde (Ximenes, 2006).

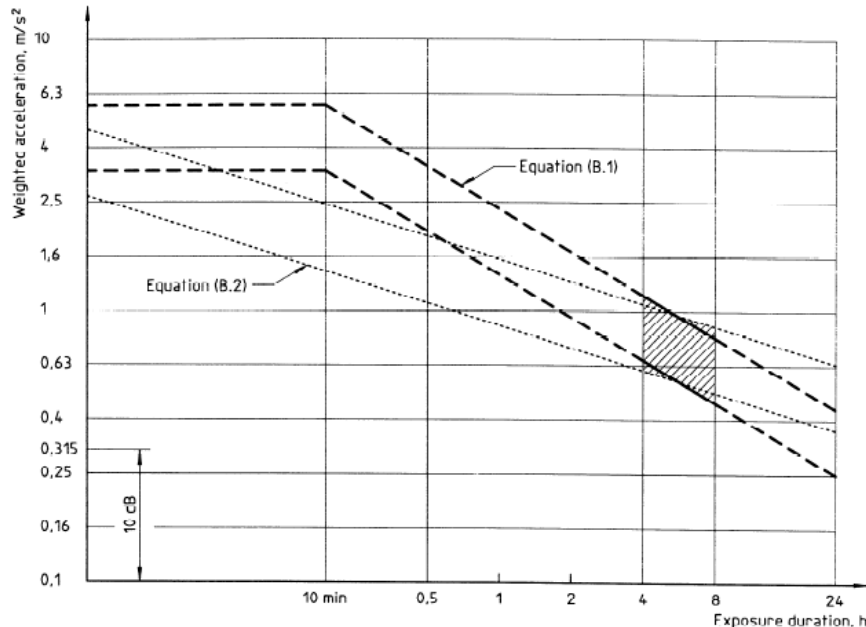


Figura 11: Guia de saúde – zona de precaução (ISO 2631:1997)

Griffin (1996) refere que são diversos os problemas que se encontram relacionados com a exposição a vibrações corpo inteiro e de uma forma geral afetam,

- A resposta subjetiva provocando desconforto, dor;
- Perturbação na atividade, visão, controlo dos movimentos dos pés e mãos;
- Efeitos patológicos, problemas da coluna;
- Mal dos transportes, náusea, vômito, redução do desempenho (Griffin, 1996)

Sendo que o efeito patológico mais conhecido e pesquisado relacionado com a exposição são os problemas na coluna com aparecimento de hérnias, lombalgias (Macedo, 2006). Ainda no mesmo ano Okunribido (2006) refere que a exposição do corpo inteiro as vibrações mecânicas está amplamente reconhecida e associada a lesões músculo-esqueléticas do sistema lombar (Okunribido, 2006).

Contudo, Fernandes (2002) refere que é necessário que o indivíduo esteja exposto às vibrações corpo inteiro durante vários anos para que ocorram mudanças no seu estado de saúde e deve-se ter em conta o carácter subjetivo dos indivíduos quando se considera o desconforto (Fernandes, 2002).

2.1.5.2.2 Vibrações sistema mão-braço

São as vibrações (8-1000 Hz) procedentes de ferramentas ou processos motorizados que entram no corpo através das mãos, sendo as mais estudadas e as que apresentam as consequências mais gravosas ao ser humano (Costa, 2009).

As vibrações transmitidas ao sistema mão-braço devem ser avaliadas segundo três eixos de coordenadas, existindo dois sistemas, segundo a norma ISO 5805 (1997), a principal diferença entre eles diz respeito à localização da origem,

- O basicêntrico – tem origem no ponto de contacto com a superfície a partir da qual a vibração mecânica é transmitida para o sistema mão-braço. É utilizado para avaliar a vibração no equipamento;
- O biodinâmico – com centro no terceiro osso metacarpiano da mão. É o que considera o efeito final no membro.

A avaliação deve ser baseada na componente direcional que apresente maior valor eficaz, Figura 12, (Nunes, 2006).

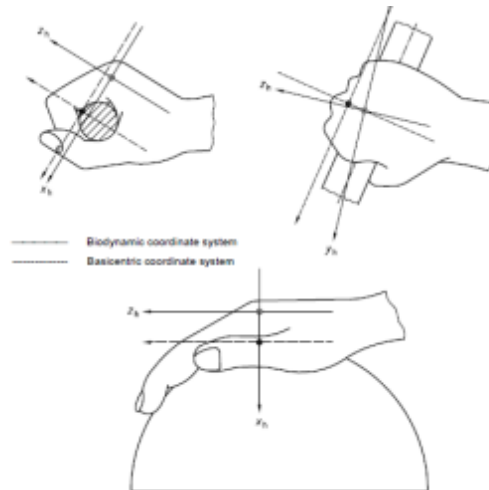


Figura 12: Sistema de coordenadas para a medição das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço (adaptado da ISO 5349)

A medição da aceleração deve ser realizada em frequência ponderada, requerendo para tal um filtro de ponderação (W_h) utilizando o mesmo para os três eixos (x, y e z). A Figura 13 mostra a curva de ponderação para as vibrações sistema mão-braço, obtendo-se um valor definido como aceleração ponderada pela frequência a_{hw} em m/s^2 .

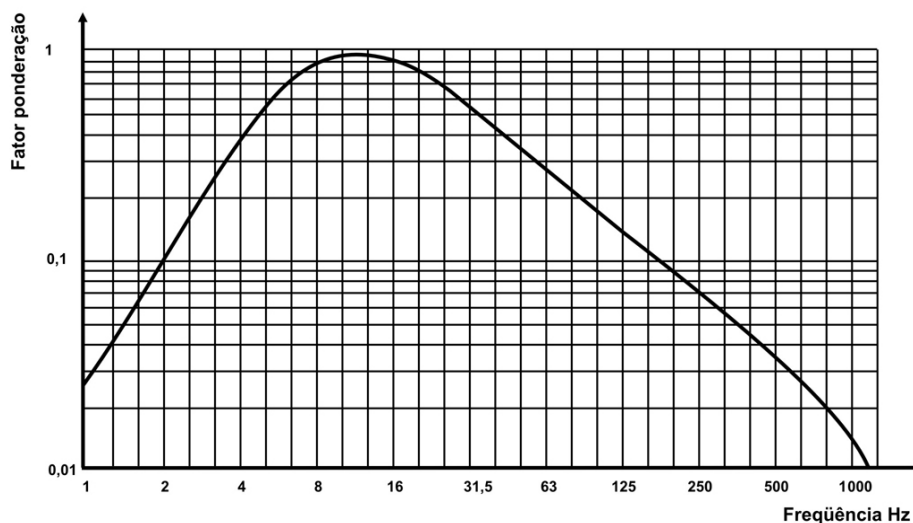


Figura 13: Fator de ponderação em frequência para vibrações transmitidas ao sistema mão-braço W_h (adaptado da ISO 5349)

Analisando esta curva verifica-se que existe um maior fator de ponderação para a faixa de frequência entre 4-31,5 Hz, sendo nesta faixa onde se observam os efeitos mais graves no sistema mão-braço (Savioneck, 2010).

A exposição ocupacional à vibração transmitida ao sistema mão-braço pode induzir o desenvolvimento de diversas lesões, a curto ou longo prazo, que podem ocorrer independente ou em simultâneo tais como,

Lesões vasculares (fenómeno de Raynaud, “síndrome dos dedos brancos”)

Esta doença é caracterizada pela alteração circulatória que geralmente é identificada pela palidez intermitente dos dedos. Em alguns casos os trabalhadores podem perder a sensibilidade e a destreza o que pode interferir com a sua atividade, podendo mesmo aumentar o risco de lesões (Milho, 2009).

Os efeitos surgem após 6 meses, no máximo, de trabalho com uma ferramenta vibratória. A exposição ao frio aumenta a sensibilidade dos vasos sanguíneos e promove a constrição dos mesmos (Nunes, 2006).

O desenvolvimento desta síndrome depende de vários fatores, dos quais se destacam os seguintes, nível de vibrações produzidas pela máquina ou ferramenta, duração diária da exposição, temperatura do local de trabalho, método de trabalho e a ergonomia das tarefas (Nunes, 2006).

A norma ISO 5349-1 (2001) fornece informação que permite o cálculo da probabilidade de ocorrência do fenómeno de Raynaud, Figura 14.

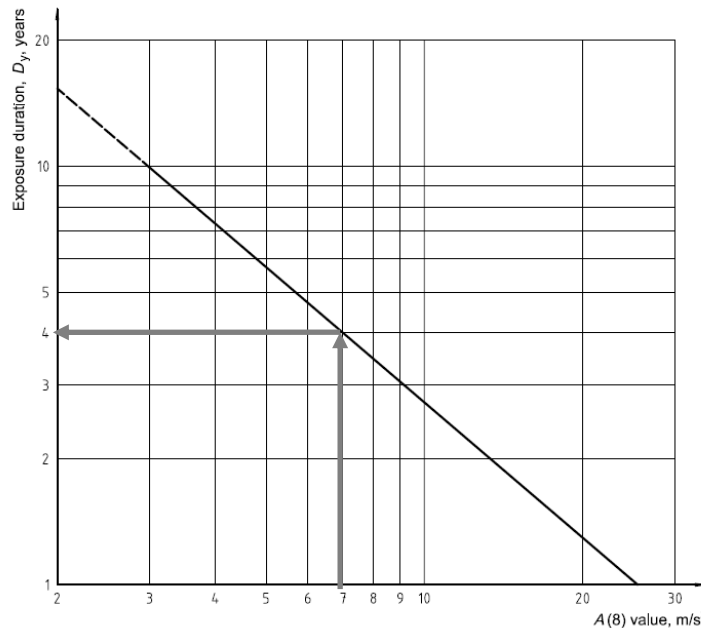


Figura 14: Gráfico para avaliação de dedos brancos ISO 5349-1

Um trabalhador exposto a vibrações diárias com um nível de 7m/s² por um período 4 anos tem 10% de probabilidade de desenvolver o síndrome dos “dedos mortos” (Cunha, 2006).

Neurológicas (síndrome do túnel carpo)

Segundo Costa (2009) os trabalhadores expostos podem apresentar um aumento dos limites da sensibilidade táctil, bem como uma diminuição da destreza manual, sucedendo sinais de sintomas de neuropatias por compressão – síndrome do túnel carpo (Costa, 2009).

Este síndrome é uma doença que ocorre quando o nervo que passa na região do punho fica submetido à compressão (Silva, 2002). Sendo caracterizado por dor, alterações da sensibilidade ou formiguelo no punho. Movimentos repetitivos, extrema flexão ou extensão do punho, trabalho muscular estático, luvas mal ajustas ou ainda as vibrações são tarefas ou fatores que têm sido identificados como responsáveis pelo desenvolvimento desta síndrome (Filho, 2010).

Músculo-esqueléticas

Milho (2009) refere que as lesões musculares são relacionadas com queixas de dor nas mãos e braços, fraqueza muscular, diminuição da força muscular e consequentemente da força de apreensão manual. Contudo, refere ainda, que estas lesões podem estar relacionadas com fatores ergonômicos, oriundos de trabalhos manuais pesados e a sua associação com a vibração transmitida à mão não é conclusiva (Milho, 2009).

Para além destes efeitos principais, podem ainda ocorrer outros nomeadamente, dores de cabeça, insónias, irritabilidade, vertigens (Lucas, 2007).

Macedo (2006) refere ainda que existem alguns agentes físicos e químicos, que predispõem o desenvolvimento de doenças das vibrações, tais como, ruído, frio, stress, esforço muscular estático, humidade, feridas nas mãos, benzeno, cloreto de vinilo, nicotina (Macedo, 2006).

2.1.5.3 Evolução histórica

Os efeitos adversos decorrentes da exposição à vibração na indústria têm sido notificados desde o início do século XX. Em 1911, em Itália, Loriga descreve os sintomas dos distúrbios vasculares em mineiros que usavam ferramentas manuais pneumáticas, no entanto, não associa a vibração das ferramentas aos distúrbios (Ximenes, 2006).

Mais tarde, no inverno de 1918 o médico, Alice Hamilton examinou trabalhadores de uma pedreira na cidade Bedford em Indiana. No seu estudo descreveu uma perturbação na circulação das mãos comum entre os trabalhadores, deixando-os brancos, entorpecidos. Tal como tinha sido descrito pelo médico francês Maurice Raynaud em 1862 (Bovenzi, 1994). Sessenta anos depois o NIOSH (National Institute Occupational Safety and Health) repetiu o mesmo estudo, no mesmo local, e encontrou os mesmos resultados (Ximenes, 2006).

No final da década de 80, Dupuis (1987) estudou 352 trabalhadores que operam com equipamentos de terraplanagem. Este grupo foi comparado com um grupo de controlo de 315 trabalhadores que trabalhavam em condições similares mas sem exposição à vibrações. Todos os trabalhadores relatam um maior desconforto na coluna durante o período trabalho. Contudo o problema de saúde entre os trabalhadores é dores lombares, quando comparado com o grupo de controlo. Deste modo, o autor conclui que a exposição a longo prazo provoca alterações morfológicas na coluna lombar (Dupuis, 1987).

Em 1989 NIOSH publica um documento "*Occupational Exposure to Hand – Arm Vibration: Criteria for a Recommended Standard*" onde demonstra que os modelos de determinados equipamentos, assim como fatores ergonômicos envolvidos na manipulação dos mesmos conduzem a desconforto, além de originarem lesões musculoesqueléticas, nas mãos, nos membros superiores e ombros (NIOSH, 1989).

Em 1994, em Itália, Bovenzi (1994) desenvolveu um estudo onde pretendia estudar a ocorrência de desordens associadas com a síndrome da vibração mão-braço numa população de trabalhadores de uma pedreira. A população do estudo consistiu em 570 trabalhadores expostos e 258 trabalhadores não expostos. Tendo verificado que sintomas músculo-esqueléticos ocorriam com maior frequência nos trabalhadores expostos do que nos do grupo de controlo (Bovenzi, 1994).

Uns anos mais tarde, Lundstrom (1999) efetuou um estudo sobre os efeitos do uso de ferramentas mecânicas manuais, tendo avaliado 125 trabalhadores expostos e 45 trabalhadores não expostos. Os resultados obtidos não demonstraram uma relação clara entre a exposição e a

sensibilidade táctil, contudo existem fortes indícios de que vibrações com frequência acima de 40 Hz possam provocar reduções significativas na sensibilidade táctil (Lundström, 1999).

Miyamoto (2000) realizou um estudo epidemiológico de dores lombares ocupacionais em 153 motoristas de camiões. Neste estudo 52,9% dos motoristas apresentam dores lombares. Os exames radiográficos de 26 motoristas demonstram estreitamento no espaço intervertebral em 19,2% dos motoristas, osteofitos (bicos de papagaio) em 57,7% e osteoartrite em 19,2%. Os exames fisiológicos demonstraram que 53,8% dos motoristas apresentam dor ao movimentarem-se; e os exames neurológicos demonstraram anormalidade na intensidade do reflexo do tendão em 19,2% dos trabalhadores. O autor refere que este estudo e outros, publicados anteriormente, permitem estabelecer uma relação entre as vibrações e as dores lombares (Miyamoto, 2000).

Em 2002 Palmer (2002) estudou os efeitos das vibrações nas perdas auditivas. Para tal efetuou um questionário a 12.606 indivíduos com idades entre os 35-64anos. Entre os 8.193 entrevistados, 185 relatam dificuldade auditiva severa e 1.151 apresentam "síndrome do dedo branco". Os dados permitem estabelecer uma associação entre a síndrome e a perda auditiva. Contudo é difícil estabelecer uma relação clara entre a exposição a vibrações e o aumento das perdas auditivas (Palmer, 2002).

Ainda nesse mesmo ano Fernandes (2002) estudou os efeitos auditivos e extra-auditivos em trabalhadores expostos a ruído e vibração. A amostra de trabalhadores era composta por dois grupos, o grupo 1 expostos a níveis de pressão sonora elevados e a vibração transmitida por motorroçadoras; grupo 2 expostos a níveis de pressão sonora elevados e a vibração transmitida pelo uso de máquinas pesadas. Os resultados para os dois grupos foram, grupo 2, 17% referem apresentar zumbido; grupo 1 todos usam protetores auriculares e apenas 11% apresentam zumbido. A autora refere ainda a grande necessidade da implantação de programas preventivos tanto no que se refere à exposição a níveis de pressão sonora elevados quanto à vibração. (Fernandes, 2002).

Em 2004 Kumar (2004) avalia a exposição a vibrações corpo inteiro, por parte de trabalhadores que operam camiões numa mina, tendo constatado que, os valores obtidos encontram-se todos acima dos valores limite estabelecidos pela ISO 2641 (Kumar, 2004).

Em 2005 Futatsuka realizou um estudo com trabalhadores de pedreiras no Vietname expostos a uma aceleração total (RMS) de 45-55 m/s² durante 160 a 210 minutos/dia e esperava encontrar evidências de sintomas dos efeitos das vibrações mão-braço entre os trabalhadores. No entanto, o índice extremamente baixo de sintomas, encontrados entre os trabalhadores, pode justificar-se pelas seguintes razões: clima tropical (temperaturas acima dos 25°C durante todo o ano), reduzida idade e anos de trabalho dos trabalhadores, mudança sazonal nas operações de trabalho (2 a 3 meses de paragem devido aos períodos de chuva) e trabalhadores saudáveis (Futatsuka, 2005).

Em 2006 Cunha (2006) na sua tese, avaliou a exposição dos trabalhadores nos processos de acabamento a seco e a húmido em treze pedreiras de mármore, tendo verificado, que existe uma predominância das exposições acima do nível de ação em vigor na Europa (Cunha, 2006).

Ainda nesse ano, Aldien (2006) desenvolve uma série de ensaios laboratoriais onde pretendia avaliar a postura do braço na influência da resposta biodinâmica do sistema mão-braço quando este é exposto a vibrações no eixo dos zz. Constatou que 96% da absorção das vibrações ocorre quando o braço se encontra na posição esticado (Aldien, 2006).

Durante três anos (2003-2006) decorreu o projeto europeu VIBRISKS cujo objetivo principal era melhorar a compreensão dos riscos causados pela exposição à vibração transmitida à mão e corpo inteiro no trabalho, por meio de vários estudos epidemiológicos, apoiados por pesquisas de laboratório.

Em 2007 Nyantumbu (2007) avaliou a severidade e a prevalência das lesões do sistema mão-braço em trabalhadores de uma mina de ouro na África do Sul. Para tal, o autor, avaliou 156 trabalhadores, escolhidos aleatoriamente, e 140 trabalhadores que não se encontram expostos a vibrações mão-braço. Verificou que 15% dos trabalhadores apresentavam os sintomas, sendo que no grupo de controlo 5% apresentavam sinais e sintomas. Este estudo diagnosticou os

primeiros casos de lesões no sistema mão-braço na indústria mineira da África do Sul, contudo a prevalência obtida foi menor do que era esperado pelo autor (Nyantumbu, 2007).

Neste mesmo ano Braga (2007) na sua dissertação caracterizou sumariamente a exposição às vibrações do sistema mão-braço dos operadores de martelos de punção no setor da construção civil. Constatou que o tipo de alimentação, o ano de construção do equipamento, peso, a energia de impacto, pressão de operação, número de impactos por minuto, potência e a superfície de trabalho constituem, por seu turno, fatores determinantes para os níveis vibracionais transmitidos ao sistema mão-braço. Sendo que os valores obtidos para as várias máquinas são na sua maioria elevados. Refere ainda que o uso de luvas anti-vibração pode ser uma alternativa para a diminuição dos níveis vibracionais ao nível da mão do operador (Braga, 2007).

Santos (2008) apresentou casos práticos de avaliação da exposição a vibrações no local de trabalho, quer no corpo inteiro quer no sistema mão-braço, cobrindo um leque basto de indústrias. Os resultados obtidos permitiram concluir que alguns tipos de equipamentos de uso manual apresentam riscos muito elevados para os seus utilizadores. No caso dos equipamentos que transmitem vibrações corpo inteiro verificou-se que os problemas são menos graves do que nas ferramentas manuais (Santos, 2008).

Ainda no mesmo contexto, Cantarino (2008) avaliou a exposição dos trabalhadores do setor da madeira e mobiliário, no setor têxtil e do vestuário a vibrações mecânicas de forma a concluir qual a dimensão de trabalhadores expostos e tipo de equipamento associados. Conclui que no setor da madeira 46% dos trabalhadores estavam expostos a níveis superiores ao nível de ação para o sistema mão-braço, principalmente devido à utilização das lixadeiras elétricas. No que se refere às vibrações corpo inteiro 33% apresentam níveis de exposição pessoal diária superiores ao nível de ação. No setor têxtil, todos os trabalhadores avaliados estão expostos a níveis inferiores ao nível de ação, para as vibrações sistema mão-braço, contudo para as vibrações corpo inteiro 30% dos trabalhadores apresentam valores de exposição superiores ao nível de ação devido à condução de empilhadores (Cantarino, 2008).

Milho (2009) na sua tese centrou-se na temática da utilização de luvas anti-vibratórias, em contexto simulado de trabalho, com a realização de tarefas que envolvem o manuseamento de duas ferramentas manuais elétricas. Para tal realizou dois estudos, no primeiro, mediu a aceleração da vibração emitida pelas ferramentas de acordo com a Norma ISO 5349-1 (2001); no segundo estudo averiguou a vibração efetivamente transmitida ao sistema mão-braço e o esforço realizado por quatro músculos do antebraço (Flexor Digitorum Superficialis (FDS), Flexor Carpi Ulnaris (FCU), Extensor Carpi Ulnaris (ECU) e Extensor Carpi Radialis Longus (ECRL)), através da técnica da eletromiografia de superfície (sEMG). Solicitou ainda o preenchimento de um questionário de forma a registar a perceção dos trabalhadores acerca de um conjunto de variáveis, incluindo o nível de conforto percecionado. A autora concluiu que, quando não foram utilizadas luvas anti-vibratórias, verificou-se uma tendência que evidencia um aumento ($\approx 2-9\%$ Contração elétrica voluntária Máxima) do esforço nos músculos flexores, e uma diminuição ($\approx 1-10\%$ Contração elétrica voluntária Máxima) do esforço num dos músculos extensores. Por outro lado, a vibração transmitida ao sistema mão-braço com e sem a utilização de luvas anti-vibratórias não é estatisticamente significativa, sendo que a luva que provocou um maior amortecimento das vibrações variava de operador para operador e de tarefa para tarefa. Relativamente ao conforto, os operadores preferiram trabalhar com luvas anti-vibratórias (Milho, 2009).

Mais recentemente, Coggins (2010) avalia a exposição dos trabalhadores da construção civil às vibrações mão-braço e corpo inteiro. Um total de 20 tipos de ferramentas manuais e 11 tipos de veículos foram avaliados. As medições foram efetuadas segundo as normas ISO 5349-1 e ISO 2631-1 e durante a realização das tarefas normais de um dia de trabalho. Assim sendo, os valores obtidos para as ferramentas manuais utilizadas não excederam os valores de ação especificados pela Diretiva 2002/44/CE, no entanto, a maioria dos veículos (10 dos 11 testados) excederam o valor limite estabelecido (Coggins, 2010).

Nesse mesmo ano, Smets (2010) avaliou 8 dumpers (com três classes de tamanhos) e constatou que as acelerações mais elevadas foram observadas no eixo z. Sendo que os

resultados obtidos demonstram que os operadores encontram-se expostos a vibrações cujos valores excedem os limites da advertência instituída pela norma ISO 2631-1 (Smets, 2010).

Ao longo destes anos a tendência dos estudos das vibrações é abordar os efeitos sobre o ser humano, assim como a contínua necessidade de minimizar os níveis de vibrações elevadas, com a substituição de máquinas e utilização de protetores, nomeadamente, luvas anti-vibratórias. Deste modo, e tendo em conta o estado da arte observa-se uma necessidade de investigação sobre a temática vibrações nas áreas, da avaliação dos protetores pessoais, desenvolvimento de soluções ergonómicas, bem como o desenvolvimento de ações de formação e informações.

2.1.6 Legislação - Vibrações

A Diretiva Quadro 89/391/CE relativa às aplicações de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e saúde dos trabalhadores, é transposta para legislação nacional através do Decreto-Lei nº 441/91 de 14 de Novembro posteriormente revogado pela Lei nº 102/2009 de 10 de Setembro.

Na Europa a primeira diretiva, Diretiva nº 89/392/CEE, conhecida como diretiva máquinas, impõe restrições ao nível das vibrações referindo que o fabricante deve tomar medidas de proteção contra riscos, aquando da conceção e fabrico do equipamento.

Assim sendo, e na sequência da Lei-Quadro surge a Diretiva nº 2002/44/CE de 25 de Junho específica para vibrações e de aplicação em todas as atividades económicas onde os trabalhadores possam estar expostos, durante o tempo de trabalho, a riscos devidos a vibrações mecânicas e cuja transposição é feita pelo Decreto-Lei nº 46/2006 de 24 de Fevereiro transpõe para ordem interna a diretiva europeia e estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas.

Sendo que os pontos fundamentais deste diploma assentam,

- Definição dos valores limites de exposição de valores de ação;
- Avaliação de riscos de exposição ao ruído;
- Vigilância médica dos trabalhadores;
- Informação, consulta, formação dos trabalhadores;
- Apresentação de medidas para a redução da exposição e de proteção individual dos trabalhadores;
- Período transitório para equipamentos de trabalho que forem postos à disposição dos trabalhadores, antes de 6 de Julho de 2007 e que não respeitem os valores limite de exposição é concedido um período máximo de 5 anos para transição.

Na Tabela 10 encontram-se estabelecidos os valores limite de exposição, não deve ser ultrapassado e valores de ação, se este valor for ultrapassado o empregador é confrontado com a necessidade de tomar medidas corretivas.

Tabela 10: Valores de exposição pessoal ou diária, para 8horas – vibrações, segundo o Decreto-Lei nº 46/2006 de 24 de Fevereiro

	Valor limite de exposição (m/s^2)	Valor de ação de exposição (m/s^2)
Sistema Mão-Braço	5	2,5
Corpo Inteiro	1,15	0,5

O cálculo do valor total da vibração, do sistema mão-braço, deve ser baseada na raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores eficazes da aceleração ponderada em frequência e determinadas segundo os três eixos ortogonais pela equação,

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Equação 9

onde a_{kv} é o valor da vibração total, em m/s^2 , a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} são os valores eficazes de aceleração ponderados em frequência, em m/s^2 (Miguel, 2010).

O cálculo do valor total da vibração, corpo inteiro, deve ser baseado através da soma vetorial ponderada pela equação (Miguel, 2010),

$$a_{kv} = \sqrt{(1.4a_{kwx})^2 + (1.4a_{kwy})^2 + a_{kwz}^2}$$

Equação 10

O cálculo da exposição diária às vibrações transmitidas ao corpo inteiro, $A(8)$ é obtido através da fórmula (Miguel, 2010),

$$A(8) = Ka_w \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

Equação 11

K – fator multiplicativo

a_w - aceleração eficaz ponderada, $m.s^{-2}$

T – duração diária total da exposição às vibrações

T_0 – duração de referencia de oito horas (28 800 segundos)

Para além da legislação nacional, sendo esta bastante detalhada existem algumas normas publicadas que especificam em pormenor os procedimentos e outras informações, nomeadamente,

Norma ISO 5349:2001 – Sistema mão-braço

Encontra-se dividida em duas partes. A primeira refere-se aos requisitos gerais e a segunda apresenta um guia prático para avaliação da exposição a vibrações transmitidas ao sistema mão - braço. Estabelece os procedimentos e formas de montagem dos acelerómetros junto à ferramenta de forma a se obter um valor representativo do sinal que atinge o operador. O ideal é colocar o acelerómetro na pega da ferramenta, no meio da zona de apreensão pois é nesta zona que se tem uma maior representatividade das vibrações que são transmitidas ao operador.

Refere ainda que sempre que se procede à medição de vibração as condições ambientais existentes no momento da medição devem ser registadas.

Norma ISO 2631-1:1997 – Vibrações corpo inteiro

Esta norma não apresenta limites de exposição à vibração limitando-se a definir um método para a avaliação da exposição à vibração corpo inteiro. De uma forma geral, são abordados os seguintes aspetos,

- Fornece guias para a verificação de possíveis efeitos da vibração na saúde, conforto, percepção e enjoo do movimento;
- Estabelece que a vibração deve ser medida de acordo com um sistema de coordenadas com origem no ponto onde a vibração entra no corpo humano;
- Os transdutores devem ser colocados na interface entre o corpo humano e a fonte de vibração.

Em edições anteriores desta norma eram apresentados três limites de exposição do corpo humano, limite de conforto, limite de fadiga e limite de exposição, com a nova edição estes

limites deixaram de ser citados passando a ser referido o valor dose de vibração e o valor dose de vibração estimado.

Esta norma permite ainda a avaliação segundo 3 níveis de exigência crescente de critérios:

- Assegurar a saúde e segurança – limite de exposição – é utilizado para avaliar a exposição máxima permitida à vibração do corpo humano;
- Assegurar a capacidade de trabalho – limite à capacidade reduzida por fadiga – é utilizado para avaliar o limite de exposição em tarefas em que o efeito da fadiga prejudique a sua performance;
- Assegurar o conforto – limite ao conforto reduzido – utilizado para avaliar o conforto das pessoas que viajam de avião, barco ou comboio (Nunes, 2006).

3 OBJETIVOS E METODOLOGIAS E MEIOS

3.1 Objetivos da Tese

Este trabalho tem como objetivo global:

- Fazer uma primeira abordagem da exposição dos trabalhadores envolvidos no sistema de carga e transporte.

No sentido de garantir a sua consecução, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as variáveis ocupacionais ruído, PM₁₀ e vibrações (corpo inteiro e mão braço) no interior das cabines dos equipamentos de carga e transporte;
- Verificar a existência, ou não, de relações entre as variáveis ocupacionais com os parâmetros produtivos.

Pretende-se ainda formular propostas de melhoria das condições de trabalho, nomeadamente, identificar práticas que envolvem o risco ocupacional e propor soluções de melhoria.

3.2 Metodologia de Desenvolvimento

A elaboração deste estudo iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica no sentido de elaborar uma metodologia adequada aos objetivos do estudo. Em seguida, realizou-se uma identificação de práticas e processos de produção, conjuntamente com avaliação dos parâmetros ocupacionais (ruído, vibrações e poeiras). Após a recolha dos dados iniciou-se a interpretação dos mesmos, conjuntamente com as últimas atualizações científicas. Por fim apresentam-se as conclusões, propostas de melhoria e de desenvolvimentos futuros, Figura 15.

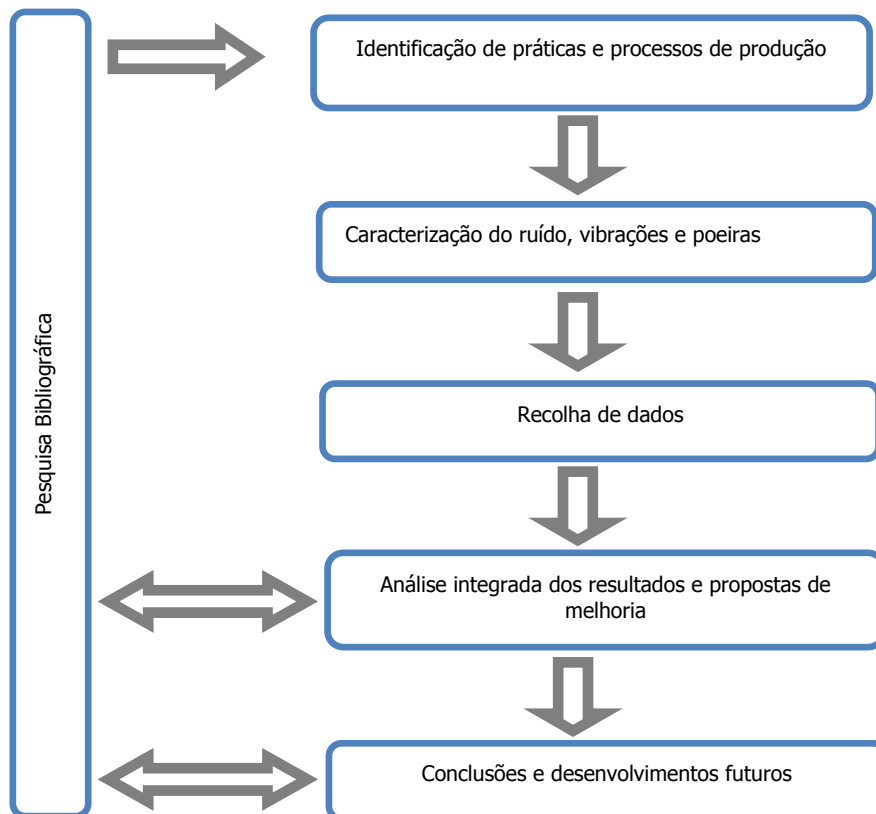


Figura 15: Esquema da metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo

3.3 Local de recolha de dados

Este trabalho consistiu na recolha de dados relativos ao ruído, poeiras e vibrações no interior das cabines de equipamentos do sistema carga e transporte numa exploração de granito a céu aberto de granito.

A pedreira tem como objetivo a produção de balastro para os caminho de ferro e de materiais de diversas granulometrias para trabalhos de construção civil e obras públicas, sendo que no mesmo local funciona um aterro de resíduos inertes (restos de demolições de construção civil, materiais sobrantes de obras de escavações, entre outros).

O granito explorado integra-se no maciço granítico de Lavadores, apresenta uma tonalidade cinzenta rosada, de grão médio e com quartzo abundante.

O desmonte é feito por degraus direitos (ver Figura 16), com recurso a explosivos. O material resultante do desmonte é fragmentado no local com recurso a um britador primário móvel. A carga e transporte do granito são efetuados com recurso a pás carregadoras e a dumpers que transportam a matéria-prima até à torva do britador secundário, situado na instalação de britagem (ver Figura 17).



Figura 16: Vista geral da pedreira



Figura 17: Vista geral da Instalação de britagem

O aterro de inertes (ver Figura 18) em funcionamento tem por objetivo a recuperação e integração da pedreira no meio ambiente.



Figura 18: Vista geral do aterro de inertes

3.4 Condições de aquisição de dados

Os dados foram recolhidos entre os meses de Janeiro a Maio, mediante condições típicas de inverno e primavera, durante o período de trabalho. Simultaneamente foram anotados os tempos das ocorrências de pontos críticos no sistema produtivo, nomeadamente, encravamento do primário, cargas, descargas e remoção dos resíduos inertes.

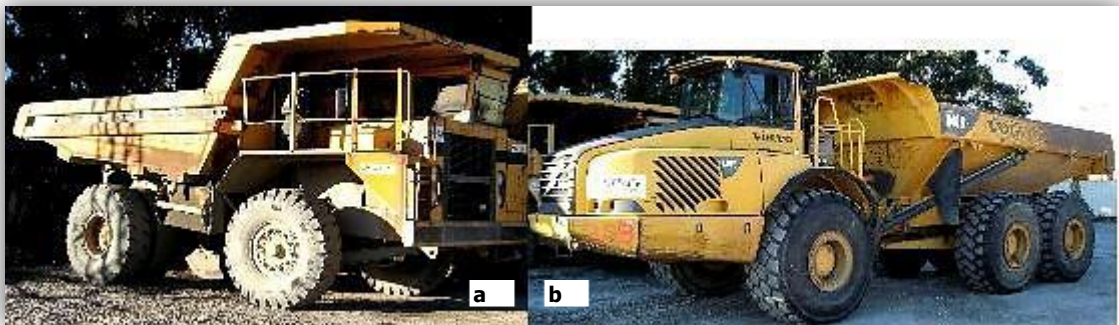


Figura 19: a) Euclid R 32 b) Volvo A 40

Nota: Os dumpers Euclid foram substituídos pelos dumpers Volvo A 40

Os dumpers (ver Figura 19) têm como função transportar material de um local de origem para outro de destino, podendo operar em dois circuitos: o “circuito de pedreira” e o “circuito de britagem”.

O ciclo de trabalho na pedreira inicia-se com a operação de carga de material resultante da britagem primária, seguindo-se o transporte, a descarga na torva do britador secundário e o regresso sem carga, Figura 20.



Figura 20: Carga do dumper – circuito pedreira

No circuito de britagem o dumper carrega diretamente dos silos da central de britagem, desloca-se até ao local de armazenamento do material onde descarrega e regressa sem carga para dar início a um novo ciclo.

Em condições normais de funcionamento, em nenhum dos dois circuitos é utilizada a pá carregadora.

De acordo com o plano de recuperação da pedreira encontram-se em funcionamento três aterros de resíduos inertes. Nestes é utilizada uma pá carregadora (ver Figura 21) para a movimentação dos resíduos, tendo como função acomodar os resíduos depositados. De acordo com as necessidades, deslocam-se de aterro em aterro ao longo das 8 horas de trabalho.



Figura 21: a) CAT 966 F b) CAT 980 G

Nota: A Pá carregadora CAT 966F foi substituída pela Pá carregadora CAT 980G

Em anexo encontram-se as plantas da pedreira com os percursos efetuados pela pá carregadora e pelos dumpers.

As Figura 22 a Figura 25 caracterizam o estado das vias de circulação dos dumpers e da pá carregadora durante o período de recolha dos dados. Sempre que se observava o mau estado de conservação das vias, estas eram logo corrigidas de forma a garantir as condições de segurança na circulação. Exemplo disso é a situação apresentada na Figura 22.



Figura 22: Exemplo do estado da pista de circulação antes e depois da manutenção



Figura 23: Exemplo do estado da pista de circulação – circuito pedreira



Figura 24: Exemplo do estado da pista de circulação – circuito britagem



Figura 25: Exemplo do estado da pista de circulação – aterro

As pistas eram regadas, regularmente, de forma a garantir a diminuição significativa do empoeiramento gerado na pedreira.

3.5 Equipamento de Medição

Os equipamentos e *software* utilizados na recolha dos dados foram cedidos pelo Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Na realização das medições recorreu-se aos seguintes equipamentos:

- Avaliação do ruído - sonómetro Solo – 01dB, Classe 1 (ver figura Figura 26);
 - Variáveis medidas: LAeq; ruído impulsivo; nível sonoro de pico;
 - Frequências de integração: bandas de oitava [16-16k] Hz;
 - Tempo de medição/ponderação: SLOW.



Figura 26: Sonómetro Solo 01dB

Na avaliação do ruído no interior das cabines, o sonómetro foi colocado ao nível do ouvido do operador.

- Avaliação de poeiras - DustTrack modelo 8520 da Marca TSI (ver Figura 27);
 - Intervalo entre medições: 10seg;
 - Calibre de partículas: $10\mu\text{m}$;
 - Caudal: 2 l/min;



Figura 27: Equipamento medição de poeiras respiráveis e totais - DustTrack

O equipamento foi colocado a uma altura que fosse a mais aproximada das vias respiratórias do trabalhador.

- Avaliação de vibrações - acelerómetro modelo SVAN 106, (ver Figura 28);
 - Período de Integração: 1min;
 - Ciclos de repetição: inf;
 - Integração RMS: Lin;



Figura 28: Equipamento medição das vibrações mão-braço e corpo inteiro

Os acelerómetros triaxiais corpo inteiro e mão-braço, foram instalados no assento e no volante, Figura 29. Na avaliação das vibrações corpo inteiro recorreu-se aos filtros de ponderação W_k para o eixo z, W_d para os eixos x e y, no sistema mão-braço utilizou-se o filtro W_h .

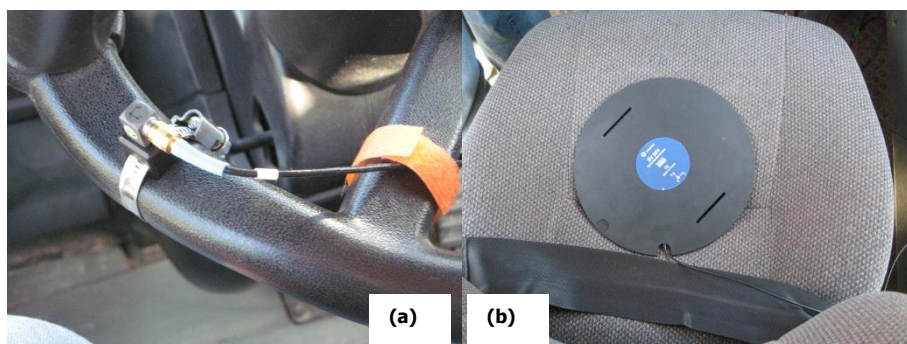


Figura 29: Instalação dos acelerómetros triaxiais no volante (a) e assento (b)

4 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Os resultados foram compilados em ficheiros de EXCEL e recorreu-se, ainda, ao *software* dBTRAIT e SvanPC para tratar os dados do sonómetro e do acelerómetro, respetivamente.

Ao longo do texto, serão apresentados os resultados mais significativos por variável, ruído, poeiras e vibrações corpo inteiro. Todas as medições foram efetuadas durante o período da tarde. Simultaneamente à recolha dos dados foram anotadas as tarefas executadas em cada momento, de modo, a numa fase posterior de análise ser possível cruzar os resultados dos diferentes tipos de registos.

Durante as medições a pá carregadora CAT 966 F e os dumpers Euclid R 32 247 e Euclid R 32 248 foram substituídos por modelos mais recentes, nomeadamente, pá carregadora CAT 980 G e dumpers Volvo A 40 333 e Volvo A 40 969.

4.1 Poeiras

Na avaliação das poeiras no interior das cabines das máquinas as portas e janelas permaneceram fechadas com exceção dos dumpers Euclid R 32 247 e 248 pois não possuíam ar condicionado.

Na Figura 30 e na Figura 31 apresentam-se as concentrações de partículas totais e respiráveis a que os trabalhadores se encontram expostos, durante o dia de trabalho, no interior da cabine das pás carregadoras CAT 966F e CAT 980G, respetivamente.

Analisando o gráfico da Figura 30 observa-se claramente que os valores da concentração das partículas totais são reduzidos, com exceção de alguns picos pontuais (assinalados com uma seta roxa, conforme legenda 1) que correspondem à abertura da porta ou janela.

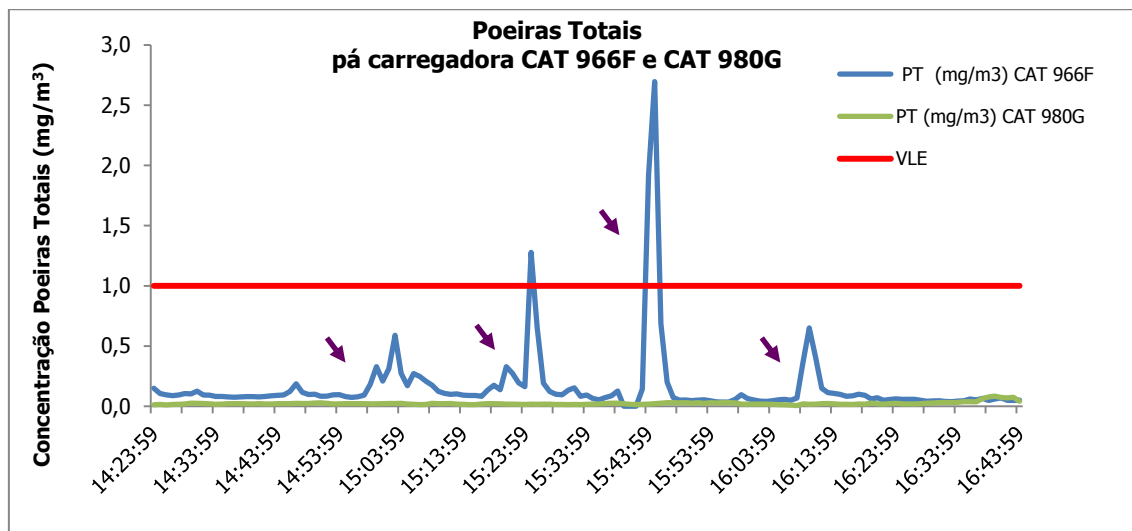


Figura 30: Valores de partículas totais ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) verificados no interior da cabine das pás carregadoras

Legenda 1

➔ Porta/janela aberta

A Figura 31 apresenta os valores da concentração das poeiras respiráveis na pá CAT 980G.

Analisando os resultados, verifica-se que os valores das concentrações das poeiras respiráveis são muito reduzidos. Contudo, observam-se alguns picos (assinalados com uma seta roxa,

conforme legenda 1) que correspondem a momentos de abertura da porta ou janela por parte do operador.

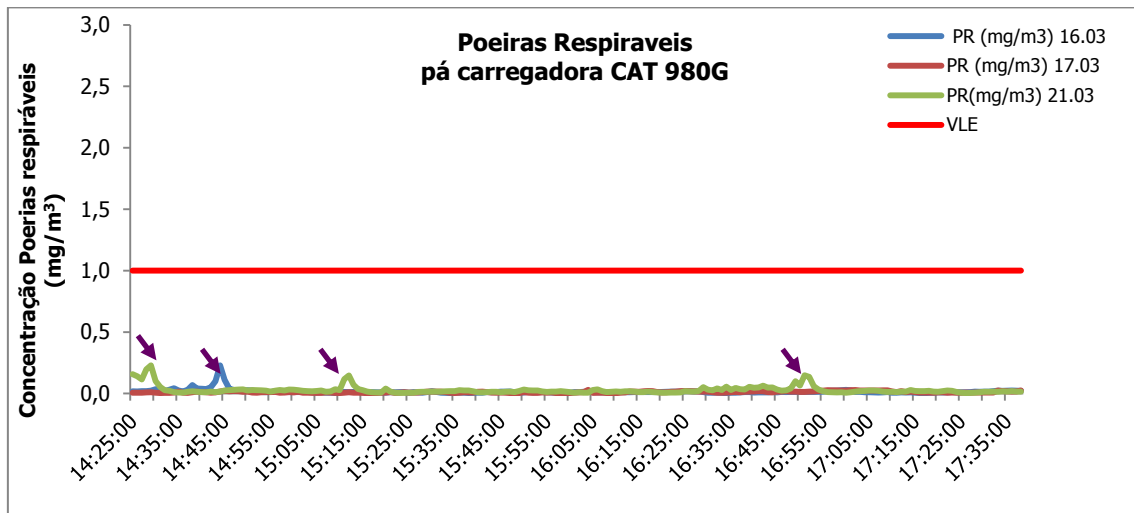


Figura 31: Valores de partículas respiráveis ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) verificados no interior da cabine da pá carregadora CAT 980G

Analisando os resultados das poeiras totais e respiráveis no interior das duas pás carregadoras verifica-se que os valores se encontram abaixo do valor limite de exposição, recomendado para este tipo de partículas, estabelecido pelo Decreto-Lei nº 162/90 de 22 de Maio, sendo que o valor considerado neste trabalho é $1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, pois o teor de sílica é superior a 25%.

Nas Figura 32 e Figura 33 apresentam-se as concentrações de partículas totais e respiráveis a que os trabalhadores se encontram expostos, durante o dia de trabalho, no interior da cabine dos dumpers Euclid R 32 247, Euclid R32 248, Volvo A 40 333 e Volvo A 40 969.

A observação do gráfico da Figura 32 permite verificar, claramente, que nos dumpers Volvo A 40 333 e A 40 969 (linhas verde e amarelo, respetivamente) os valores obtidos para as poeiras totais são muito reduzidos.

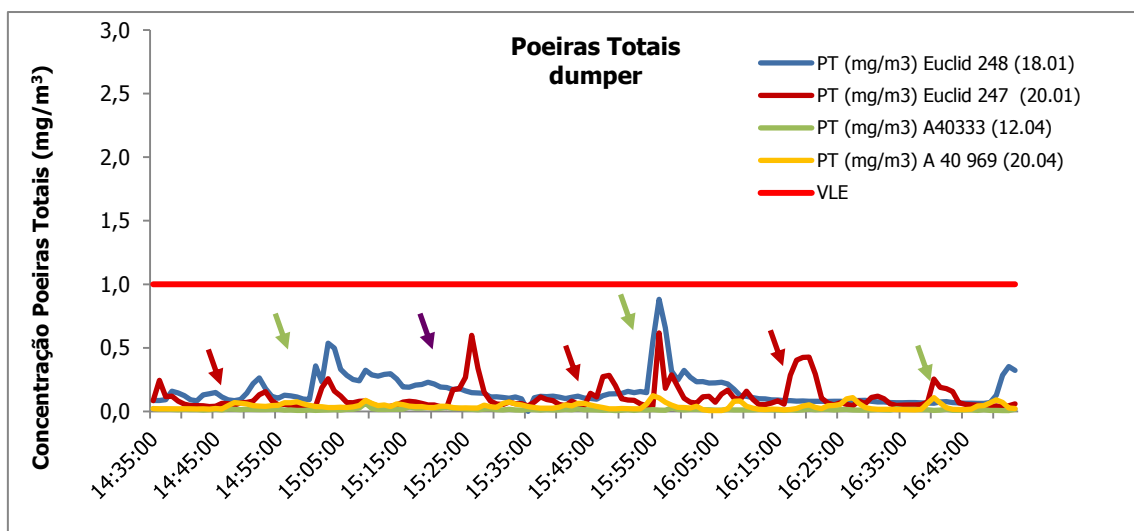


Figura 32: Valores de partículas totais ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) verificados no interior da cabine dos dumpers Euclid e Volvo A 40

Legenda 2

- Porta/janela aberta
- Operação de carga
- Operação de descarga

Os picos observáveis nos dumpers Euclid R 32 247 e Euclid R 32 248 (linha vermelha e azul, respetivamente) correspondem ao momento de carga ou descarga (assinalas com um seta vermelha e verde, conforme legenda 2), representando um ciclo, durante o período de medições.

Contudo, os valores detetados para os picos, não são lineares nem apresentam o mesmo comportamento ao longo do tempo. Durante a carga, o material sai do britador primário através de um tapete rolante e cai diretamente na báscula do dumper. Neste caso, o método utilizado para evitar a dispersão de poeiras consiste na rega do material ao longo do tapete rolante. Aquando da descarga do dumper na torva o material cai de uma só vez.

Assim sendo, os valores dos picos registados podem ser justificados por uma rega pontualmente menos eficiente do material durante a carga. No caso da descarga, as variações podem ser justificadas pela variação do volume da carga, uma vez que o dumper nunca traz a mesma quantidade de material. No entanto, a direção e a intensidade do vento também devem ser fatores a considerar na análise da variação dos valores.

Na Figura 33 são representados os valores obtidos para as poeiras respiráveis no interior da cabine dos Volvo A 40 333 e Volvo 40 969. Observa-se nitidamente que os valores obtidos são reduzidos. Estes valores reduzidos são justificados pelo facto dos Volvos possuírem ar condicionado e as janelas permanecerem fechadas durante o período de avaliação.

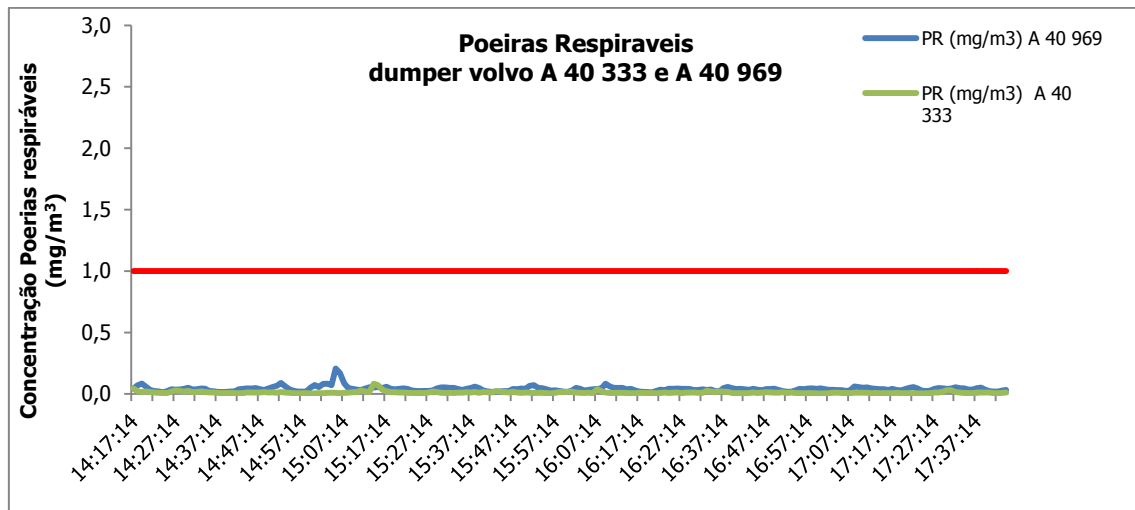


Figura 33: Valores de partículas respiráveis ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) verificados no interior da cabine dos dumpers Volvo A 40 333 e A 40 969

Comparando os resultados obtidos para os dumpers Euclid com os dos Volvo A40 verifica-se que os valores se encontram muito abaixo do valor limite de exposição recomendado para este tipo de partículas pelo Decreto-Lei nº 162/90 de 22 de Maio, sendo que o valor considerado neste trabalho é $1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, pois o teor de sílica é superior a 25%.

4.2 Ruído

Durante o período em que decorreram as medições, o operador encontrava-se no interior da cabine com as janelas fechadas e ar condicionado ligado, com exceção dos dumpers Euclid R 32 247 e Euclid R 32 248 em que as janelas permaneceram abertas devido a inexistência de ar condicionado.

4.2.1 Dumpers

Da Figura 34 à Figura 39 pode observar-se a evolução do ruído nas cabines dos dumpers Euclid R 32 247, Euclid R 32 248, Volvo A40 333 e Volvo A40 969 nos circuitos de britagem e pedreira, ao longo do período de trabalho. Estes equipamentos eram operados por motoristas diferentes.

Foi efetuada uma análise dos gráficos, com a intenção de encontrar padrões que permitam relacionar atividades ou ações do processo produtivo com a variável ocupacional ruído, atendendo às ações registadas durante o processo.

No gráfico da Figura 34 (conforme legenda 4), que mostra a evolução do ruído no dumper Euclid R 32 247, observam-se claramente as quatro paragens do motor que ocorreram durante o tempo de registo.

Nestes períodos (assinalados com uma seta e numerados de um a quatro no gráfico) nota-se uma clara redução dos níveis de ruído no interior da cabine. As paragens um e quatro correspondem a tempos de espera, junto ao britador primário (móvel), antes da operação de carga direta do dumper a partir do britador. Os momentos dois e três correspondem a paragens no fundo da pedreira para carga de materiais diversos. Comparando estas duas situações em que o motor se encontrava desligado, verifica-se uma clara distinção entre os níveis de ruído no fundo da pedreira e junto ao britador primário.

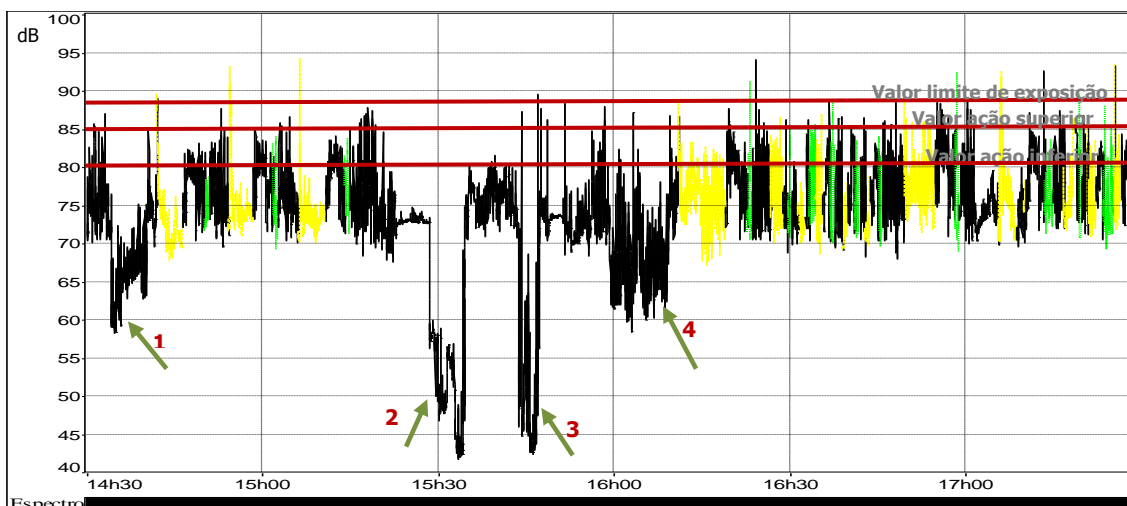


Figura 34: Evolução do ruído no circuito britagem e pedreira no interior da cabine do dumper Euclid R32 247 (modelo antigo)

Legenda 4

- ➔ Paragem com motor desligado
- ➔ Paragem com motor ligado
- ➔ Carga com encravamento do britador primário/silo
- Amarelo – operação de carga do dumper
- Verde – operação de descarga do dumper
- Preto – movimentação do dumper

Analisando as operações de carga (a amarelo no gráfico da Figura 34), verifica-se que as ocorridas entre as 14h30 e as 15h15 correspondem a cargas efetuadas a partir do britador

primário, a amplitude registada no gráfico é menor do que nas ocorridas a partir das 16h10, onde a carga do dumper se faz a partir de um silo. Registe-se ainda que não houve interrupções na carga quando efetuada a partir do britador ou silo. Os picos observáveis no momento em que se inicia a carga correspondem à descarga direta do material na báscula vazia do dumper. Os outros picos observáveis, correspondem a cruzamentos com outras máquinas que circulam na pedreira, nomeadamente, camiões com destino ao aterro de inertes.

As operações de descarga, assinaladas a verde, decorreram normalmente, sem nada de relevante a assinalar.

O gráfico da Figura 35 (ver legenda 4), representa a evolução do ruído no interior da cabine do dumper Euclid R 32 248.

Analisando as operações de carga, a amarelo, verifica-se que nas ocorridas entre as 14h30-15h00, 15h40-16h, 16h40-17h15 que correspondem a cargas efetuadas a partir de um silo, a amplitude registada é maior do que as operações ocorridas entre as 15h05-15h40, 16h-16h40, 17h15-17h30 que correspondem a cargas efetuadas a partir do britador primário. Registe-se que ocorreram interrupções em algumas cargas, assinaladas com uma seta, quando efetuadas a partir do britador. Estas interrupções ocorrem devido a encravamentos do britador.

As operações de descarga, assinaladas a verde, ocorreram sem nada de relevante a assinalar.

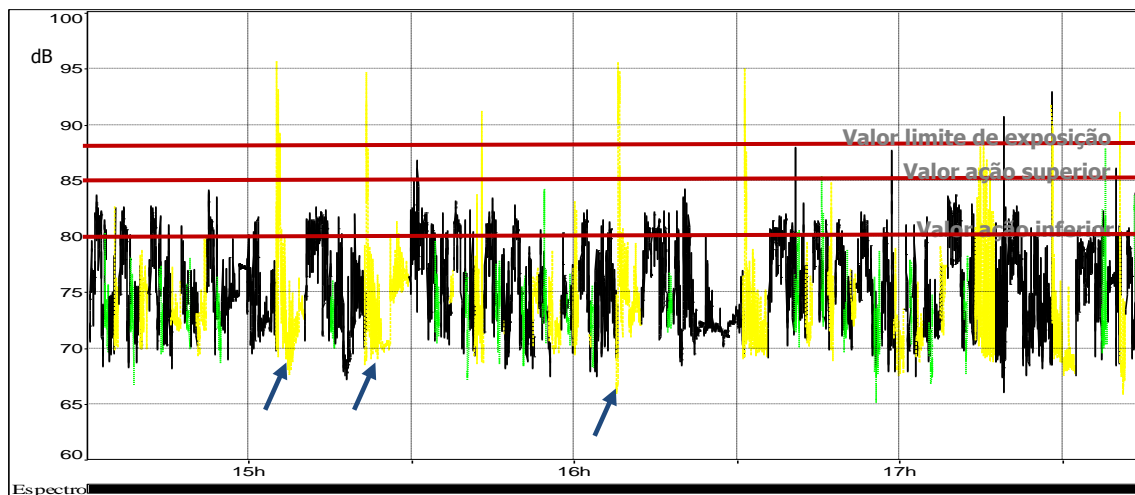


Figura 35: Evolução do ruído no circuito britagem e pedreira na interior da cabine do dumper Euclid R32 248 (modelo antigo)

Comparando as amplitudes do ruído das operações de carga no dumper Euclid R 32 247 (modelo antigo) e Euclid R 32 248 (modelo antigo), no circuito pedreira e britagem, constata-se que em ambos os valores são elevados. Os valores elevados no interior da cabine devem-se ao facto da cabine não possuir um sistema de insonorização apropriado para o tipo de atividades desenvolvidas durante o período de trabalho. O valor máximo de insonorização é de 77 dB (A). Sendo que os valores do ruído obtidos são, ainda, influenciados pelo facto da circulação dos dumper ser feita com a janela aberta devido à inexistência de ar condicionado.

Nos gráficos das Figura 36 e Figura 39 é possível observar a evolução dos padrões de ruído, em dois dumpers iguais (Volvo A 40 333 e A 40 969) (modelo novo).

Durante o período de medições a janela permaneceu fechada. A cabine possui um sistema de ar condicionado regulado pelo operador, assim como um sistema de comunicação do operador montado no painel (consiste numa câmara de filmar colocada na traseira da pá carregadora, ligada a um pequeno ecrã colocado no interior da cabine).

Na Figura 36 (conforme legenda 4) pode-se observar a evolução do ruído no interior da cabine do dumper Volvo A 40 333.

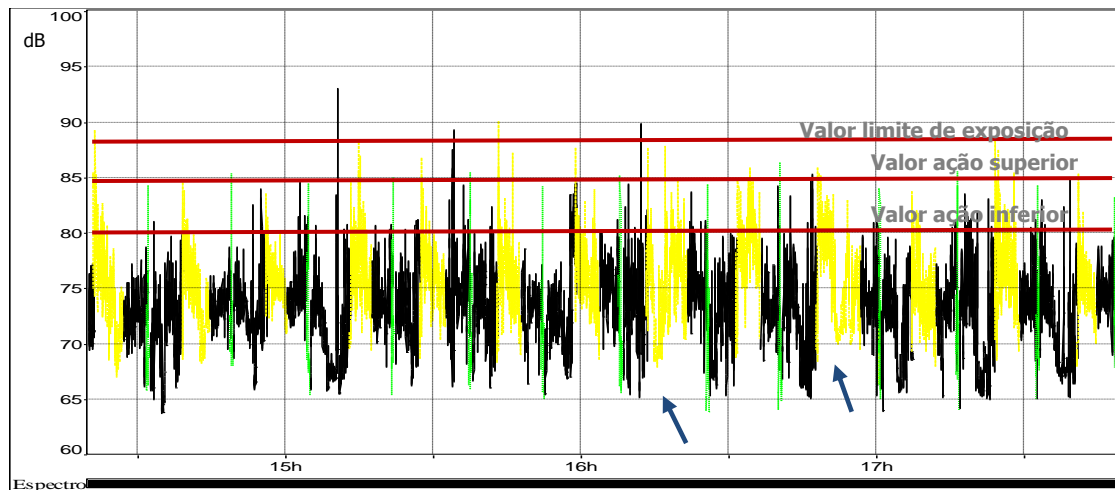


Figura 36: Evolução do ruído no circuito pedreira no interior da cabine do dumper Volvo A 40 333 (modelo novo)

Analisando o gráfico é possível observar-se dois encravamentos do britador primário, assinalados com uma seta azul, durante a operação de carga. As operações de carga que decorrem com encravamentos são facilmente identificáveis pois apresentam uma redução pontual da amplitude do ruído registado. As restantes operações de carga e de descarga decorreram sem nada a assinalar. Os picos observáveis aquando da carga correspondem à descarga do material diretamente na báscula vazia do dumper. No entanto, os restantes picos correspondem a cruzamentos com outras máquinas na pedreira.

A Figura 37 (conforme legenda 4) mostra a evolução do ruído no interior do Volvo A 40 333.

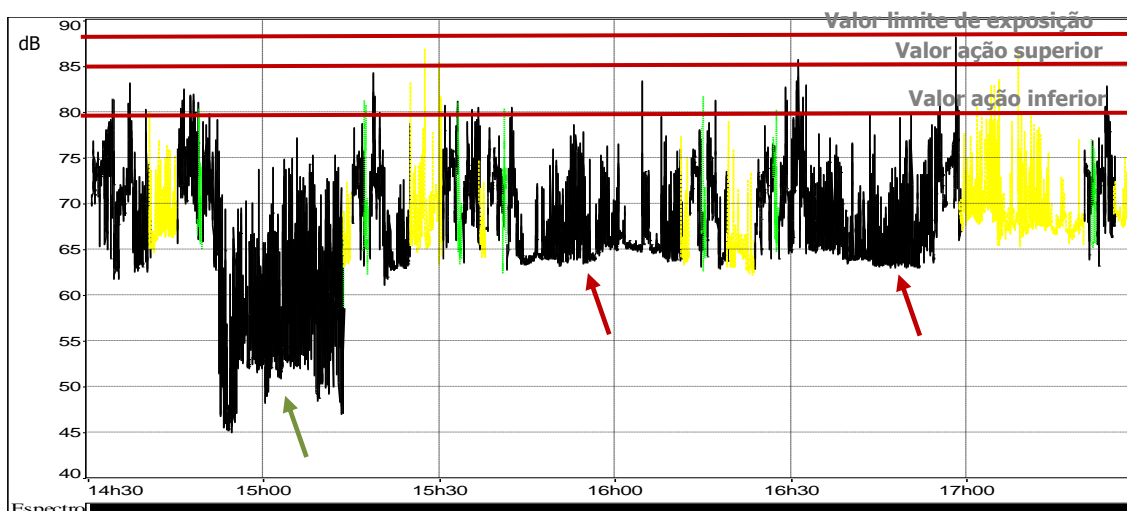


Figura 37: Evolução do ruído no circuito britagem no interior da cabine do dumper Volvo A 40 333 (modelo novo)

Observam-se, claramente, 3 situações anómalas ao longo do período de trabalho (assinaladas com setas): duas paragens que correspondem ao motor ligado (setas vermelhas) e uma com o motor desligado (seta verde). Estas paragens ocorreram devido ao tempo de espera para a carga do dumper pelo silo, na instalação de britagem. Nestes períodos nota-se uma clara redução do ruído no interior da cabine. Comparando estas duas situações entre o ruído com o motor ligado e desligado verifica-se uma clara distinção entre os níveis de ruído.

As operações de descarga decorreram sem anomalias assinaláveis.

Analisando as operações de carga, verifica-se que às 17h00 ocorreu uma alteração no modo de funcionamento do circuito. Inicialmente o dumper era carregado a partir dos silos enquanto após as 17h00 a carga do dumper é feita diretamente do infra do britador secundário. Deste modo, o tempo de carga é mais longo, como se pode observar na Figura 37. Analisando esta carga, verifica-se que ocorreram algumas interrupções, que correspondem aos tempos de espera de material.

A Figura 38 (conforme legenda 4) esquematiza a evolução do ruído na cabine do dumper Volvo A 40 969.

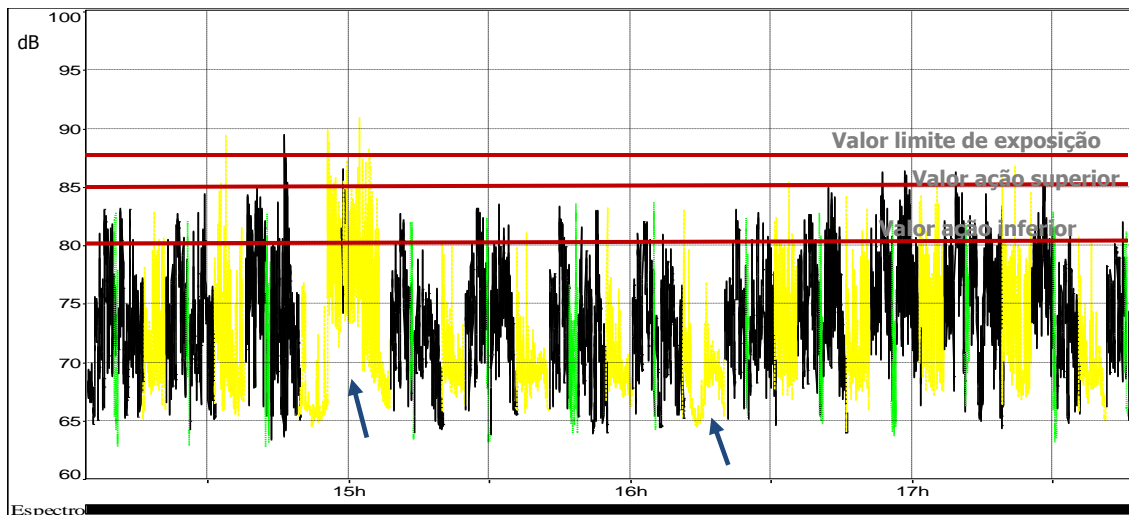


Figura 38: Evolução do ruído no circuito pedreira no interior da cabine do dumper Volvo A 40 969 (modelo novo)

Neste período de avaliação, e analisando as operações de carga (amarelo), é possível identificar dois encravamentos (setas azuis) ocorridos no primário. Estas anomalias nas cargas são facilmente identificadas pois correspondem a momentos onde se observa uma variação brusca da amplitude do ruído. As restantes cargas assim como as descargas decorreram sem anomalias.

A Figura 39 (conforme legenda 4) esquematiza a evolução do ruído no interior da cabine do Volvo A 40 969.

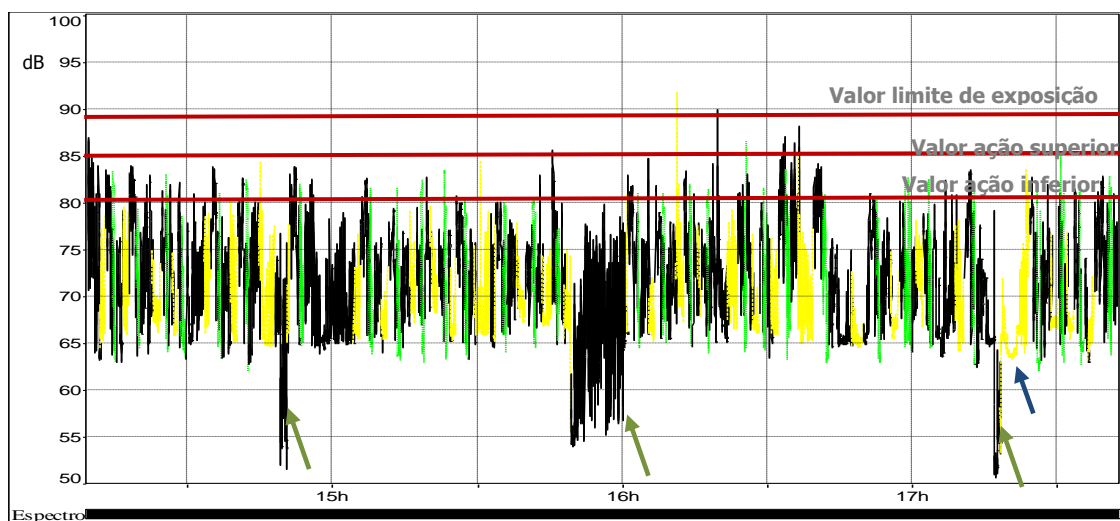


Figura 39: Evolução do ruído no circuito britagem no interior da cabine do dumper Volvo A 40 969 (modelo novo)

Observa-se claramente a ocorrência de 3 momentos em que o motor esteve desligado (seta verde). Estas paragens ocorreram devido à espera de material no silo de forma a proceder à carga do dumper.

Analisando as operações de carga, verifica-se que existe uma que regista uma anomalia (seta azul). Durante esta carga do dumper ocorreu um encravamento da válvula de descarga do silo.

Comparando os resultados obtidos para os Volvos A 40 (modelo novo), verifica-se que os níveis de ruído estão abaixo dos valores limite estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 182/2006, valor-limite de exposição 87dB (A), valor de ação superior 85 dB (A) e inferior 80 dB (A). Isto deve-se ao facto da cabine possuir um sistema insonorização cujo nível de ruído interno é de 72 dB (A).

Comparando os resultados obtidos para os Euclid R 32 (modelo antigo) e os Volvos A 40 (modelo novo) verifica-se que a amplitude do ruído no interior da cabine dos Volvos é significativamente menor.

Os dumper Euclid são máquinas cujo valor máximo do sistema de insonorização da cabine é de 77 dB (A), enquanto que nos Volvos A 40 o valor máximo é de 72 dB (A). Os valores obtidos do ruído são ainda influenciados pelo facto da circulação dos dumper Euclid ser feita com a janela aberta, devido à inexistência de ar condicionado.

Comparando ainda os dois percursos efetuados (pedreira e britagem), verifica-se que no circuito da pedreira os valores da amplitude do ruído são mais elevados do que para o circuito da britagem. Estes valores podem ser justificados pelo tipo de atividade desenvolvida, nomeadamente, a fragmentação do material por parte do britador e a descarga deste na báscula vazia do dumper.

Analisando e comparando as operações de carga, em ambos os circuitos, verifica-se que é no circuito da pedreira onde se registam os valores menos elevados das amplitudes. Isto deve-se ao facto da carga do dumper ser feita diretamente sobre a báscula vazia do dumper e ao choque do material entre si.

Relativamente as operações de descarga não há nada assinalar. A descarga é feita de uma só vez.

4.2.2 Pá carregadora

A Figura 40 e a Figura 41 mostram os resultados da medição do ruído nas cabines das pás carregadoras CAT 966F e CAT 980G. Estas são manobradas pelo mesmo operador.

Na Figura 40 pode observar-se a evolução do ruído ao longo do turno de trabalho, entre as 14h30 e as 17h30, para a CAT 966F. Ao longo desse período esta pá executou atividades diversas e de curta duração (arrumação de materiais em aterro e de deslocação entre aterros).

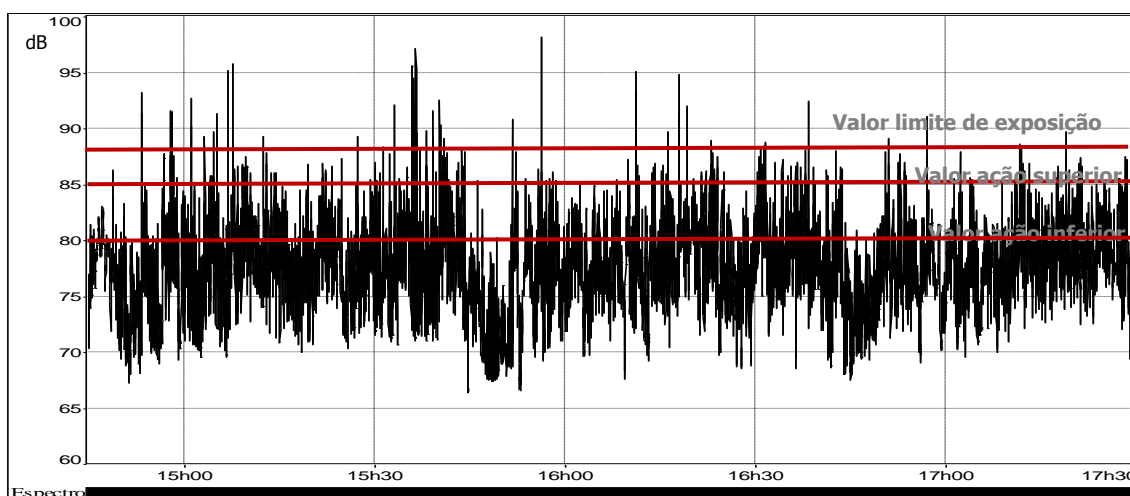


Figura 40: Evolução do ruído no interior da cabine da pá carregadora CAT 966F (modelo antigo)

Analisando a evolução do ruído para a pá CAT 966F e cruzando esses dados com outros elementos recolhidos, relativos às tarefas executadas, verifica-se que os picos de ruído observáveis correspondem ao ruído do motor provocado pela tarefa de empurrar os resíduos.

A Figura 41 (conforme legenda 3) representa a evolução do ruído no interior da pá carregadora CAT 980G, entre as 14h30 e as 17h30.

A cabine possui um sistema de ar condicionado regulado pelo operador, e um sistema de comunicação do operador montado no painel (consiste numa câmara de filmar colocada na traseira da pá carregadora, ligada a um pequeno ecrã colocado no interior da cabine). Deste modo, o operador não necessita de abrir a janela/porta para receber informações. Este sistema funciona, igualmente, como instrumento de segurança aquando da realização das várias manobras.

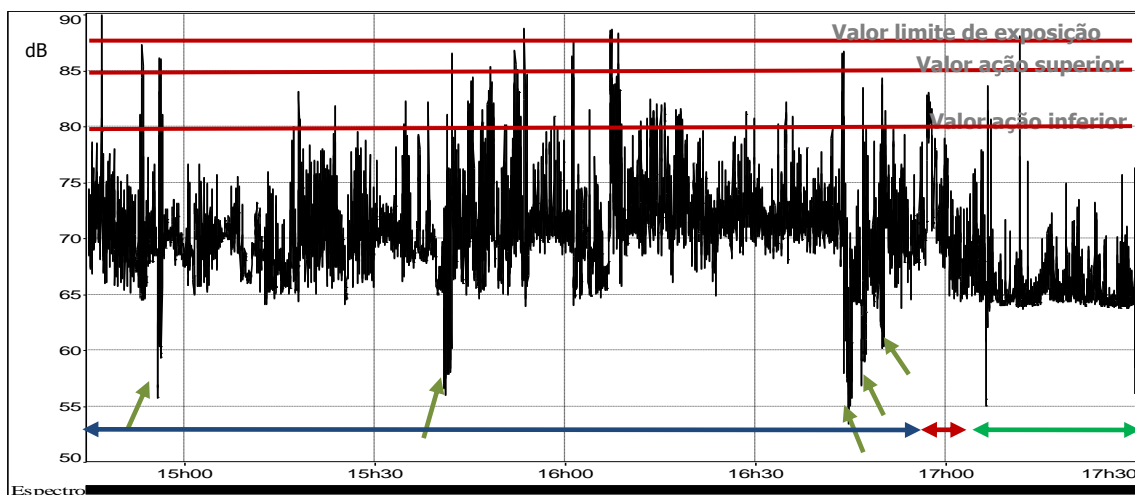


Figura 41: Evolução do ruído no interior da cabine da pá carregadora CAT 980G (modelo novo)

Legenda 5

- ↔ Trabalho irregular/intermitente no aterro e deslocações entre aterros
- ↔ Carga de um camião
- ↔ Movimentação de pequenas cargas de brita
- Motor desligado

Ao longo do período de trabalho a pá efetua atividades, de curta duração, de arrumação de materiais em aterro e de deslocação entre aterros. Analisando o gráfico da Figura 41, é possível identificar e relacionar alguns padrões de ruído com a respetiva atividade.

Nesta figura estão anotados os diferentes momentos com padrões genéricos identificáveis. Até cerca das 16h10 observa-se um padrão idêntico ao observado no gráfico da Figura 40 (apesar de a intensidade do ruído ser menor), entre as 16h10 e as 16h40 a pá trabalhou de forma continuada na arrumação de resíduos. Entre as 16h40 e as 17h00 voltou a executar trabalho irregular, ao qual se seguiu o carregamento de um camião durante cerca de 5 minutos, tendo terminado o dia de trabalho a movimentar pequenas cargas de brita.

Contudo, os picos observáveis correspondem ao ruído produzido pelo motor no momento em que se encontrava a empurrar os resíduos.

Para além do trabalho de arrumação dos resíduos feito nos aterros, neste dia de medição, foram realizados, pontualmente, outros tipos de atividades, nomeadamente, a carga de camiões e pequenos transportes internos de brita.

Desta descrição, torna-se clara a relação entre o tipo de tarefa e as características da evolução do ruído para estas duas pás carregadoras.

Analisando a evolução do ruído ao longo do tempo, para a CAT 966F (ver Figura 40) e para a CAT 980G (ver Figura 41) verifica-se que a CAT 966F apresenta uma amplitude de ruído maior que a CAT 980G. Isto pode dever-se ao facto da cabine da CAT 980G obedecer aos regulamentos da OSHA em vigor na data da fabricação da máquina e se encontrar perfeitamente insonorizada. Trata-se de uma máquina com 20.753 horas de trabalho, enquanto que a CAT 966F registava 205.642 horas de trabalho. Sendo que o elevado ruído produzido pelo motor, desta, poderia indicar a necessidade de manutenção.

4.2.3 Amostragem

De forma a determinar qual o período mínimo de amostragem suficiente para caracterizar o nível de ruído a que os operadores se encontram sujeitos no interior da cabine, procedeu-se à aplicação da seguinte fórmula (Iman, 1983), que permite calcular o tamanho da amostra,

$$\bar{X} = (Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sigma) / \sqrt{n} \quad \text{Equação 12}$$

\bar{X} - média da amostra

σ - desvio padrão

Z – valor crítico correspondente ao grau de confiança

n – tamanho da amostra

A aplicação desta fórmula implica que a população siga uma distribuição normal.

A fim de se averiguar se os dados obtidos para o ruído seguem ou não uma distribuição normal aplicou-se o teste Kolmogorov-Smirnov.

Na aplicação desta fórmula usou-se um intervalo de confiança 95% e erro de 1%.

A título de exemplo, na Figura 42, Figura 43 e Figura 44 mostram-se os resultados obtidos para o tempo de mínimo de amostragem, na pá carregadora CAT 980G e Volvo A40 333, respetivamente.

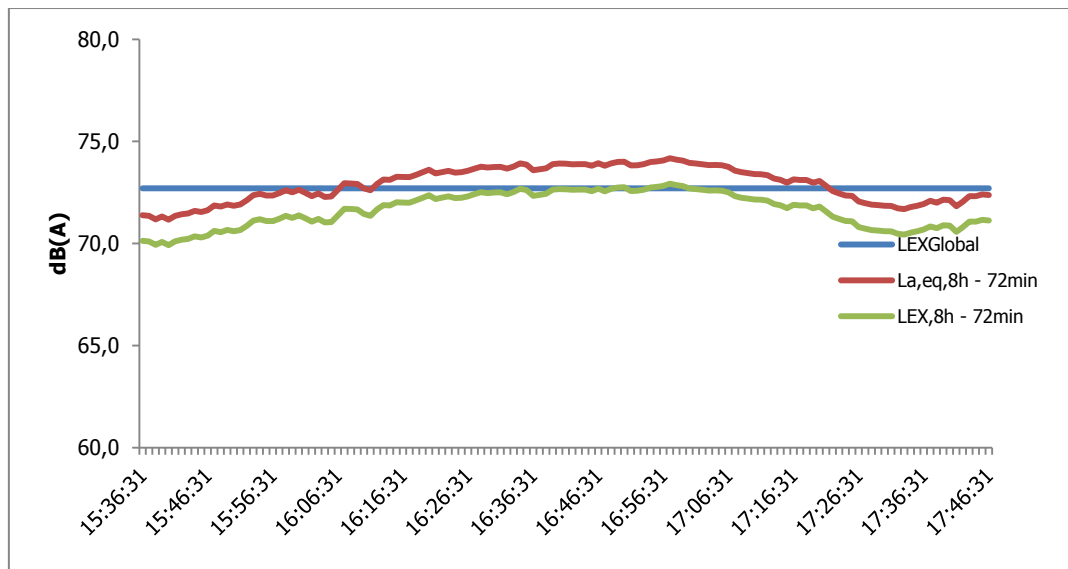


Figura 42: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem de 72min - pá carregadora CAT 980G

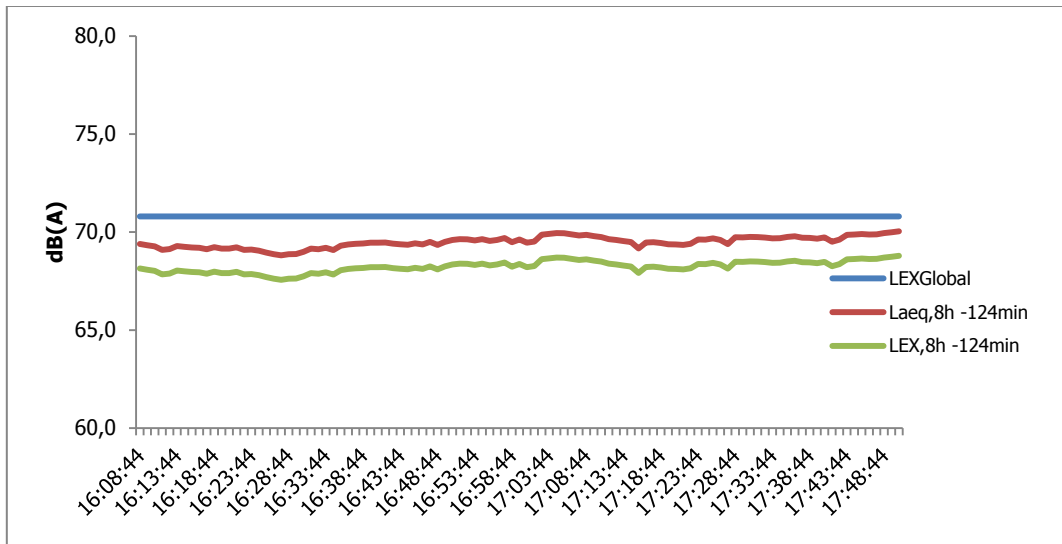


Figura 43: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem de 124min – dumper Volvo A 40 333 (circuito britagem)

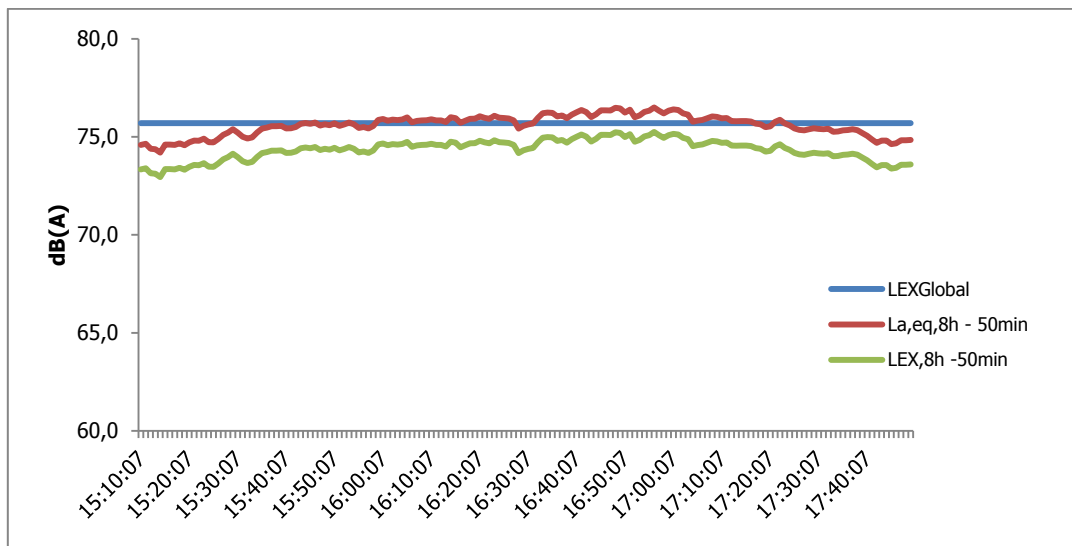


Figura 44: Evolução do nível sonoro contínuo equivalente (LAeq) para um tempo de amostragem 50min – dumper Volvo A 40 333 (circuito pedreira)

Analisando os resultados obtidos para a pá carregadora CAT 980G e para o dumper volvo A 40 333, verificou-se que seriam necessárias medições de 72min, 124min e 50min, com um intervalo de recolha de 1 min, para caracterizar o ruído no interior da cabine das respetivas máquinas.

Os diferentes tempos de amostragem obtidos demonstram que as medições de 15 min ou 20 min usualmente utilizadas, para caracterizar o nível de ruído no interior destas máquinas não são suficientes, tendo em conta o tipo de atividades desenvolvidas durante um período de trabalho. Sendo que estes períodos podem contemplar momentos mais ruidosos ou menos ruidosos.

4.2.4 Cálculo da Incerteza de medição

Ao longo deste estudo foram avaliados 3 motoristas. Para cada motorista efetuaram-se 7 dias de medições com cerca de 3h30, de forma a caracterizar o nível de ruído a que se encontram expostos no interior da cabine da máquina que operam.

Na Tabela 11 apresentam-se os valores do L_{Aeq} , $L_{EX,8H}$ e a incerteza expandida, a que se encontram expostos os trabalhadores durante os dias de medições. A incerteza foi calculada tendo por base a folha de Excel disponível para a norma NP EN ISO 9216:2011².

Tabela 11: Valores de L_{Aeq} e incerteza resultante da avaliação do nível de ruído para os dias de medições

Motorista	L_{Aeq} dB(A)	$L_{EX, 8H}$	Incerteza Expandida
A	77,5	74,7	2,3
	77,5		
	75,7		
	75,7		
	75,6		
	73,8		
	74,7		
B	74,2	74,6	2,5
	77,1		
	74,3		
	73,5		
	75,6		
	73,8		
	72,2		
C	73,7	75,0	3,4
	72,7		
	73,4		
	71,9		
	73,5		
	74,3		
	79,6		

Nota: Incerteza calculada com base na norma NP EN ISO 9216:2011

Analisando os resultados obtidos verifica-se que os motoristas encontram-se expostos a um $L_{EX,8H}$ de 74,7 dB(A), 74,6 dB(A) e 75,0 dB(A) com uma incerteza expandida associada a uma probabilidade de 95% ($k=1,65$) de 2,3, 2,5 e 3,4 dB (A), respetivamente.

² As fórmulas usadas para o cálculo da incerteza encontram-se em anexo.

4.3 Vibrações

Durante o período em que decorreram as medições, o operador encontrava-se no interior da cabine.

4.3.1 Sistema mão-braço

No gráfico da Figura 45 encontra-se representada a evolução das vibrações mão-braço para a pá carregadora CAT 980 G.

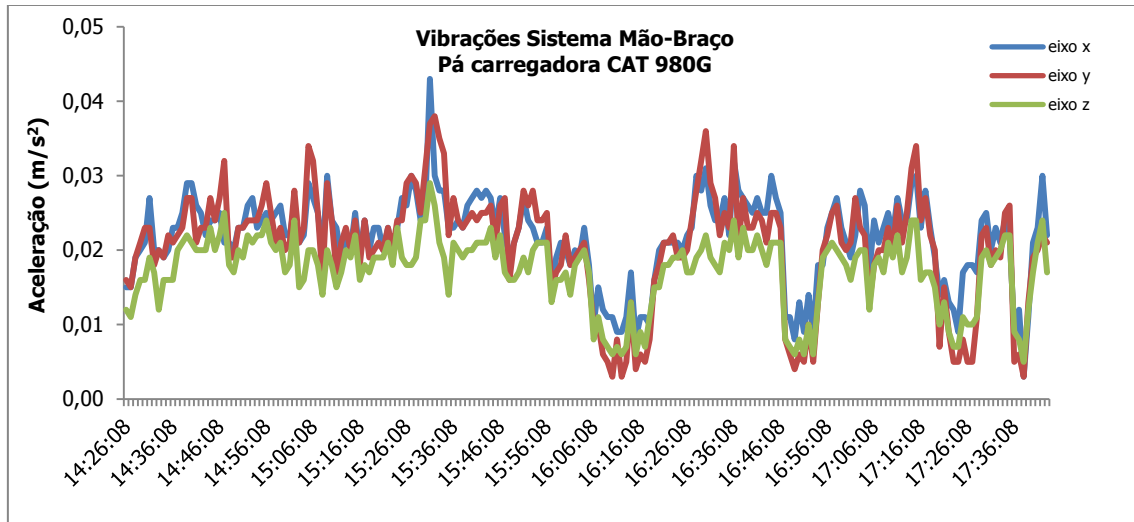


Figura 45: Evolução das vibração mão-braço pá carregadora CAT 980 G (modelo novo)

Como se pode verificar os valores obtidos são muito reduzidos, estando abaixo dos valores legais, estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 46/2006. Este diploma estabelece para o sistema mão-braço um valor-limite de exposição de $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ e um valor de ação de exposição de $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Tendo em conta estes resultados, não foram efetuadas mais avaliações do sistema mão-braço para os equipamentos em análise.

4.3.2 Corpo inteiro

4.3.2.1 Dumper

As Figura 46 e Figura 50 mostram os resultados da medição das vibrações corpo inteiro nos assentos dos dumpers Euclid R 32 247 (modelo velho), Volvo A 40 333 (modelo novo) e Volvo A 40 969 (modelo novo).

Verificou-se que, em todos os dias de medição, os valores mínimos das vibrações correspondem aos momentos de carga ou descarga, e os valores máximos são atingidos durante as deslocações.

A Figura 46 representa a evolução das amplitudes das vibrações corpo inteiro no dumper Euclid R 32 247.

Analisando o gráfico da Figura 46 verifica-se que não ocorreram anomalias ao processo produtivo, isto é, paragens durante o circuito.

Constata-se que o eixo predominante é o eixo z – acelerações verticais. A causa mais provável para estes níveis de vibração é o tipo/estado do pavimento, estado dos pneus e eventualmente o sistema de amortecimento do assento do equipamento.

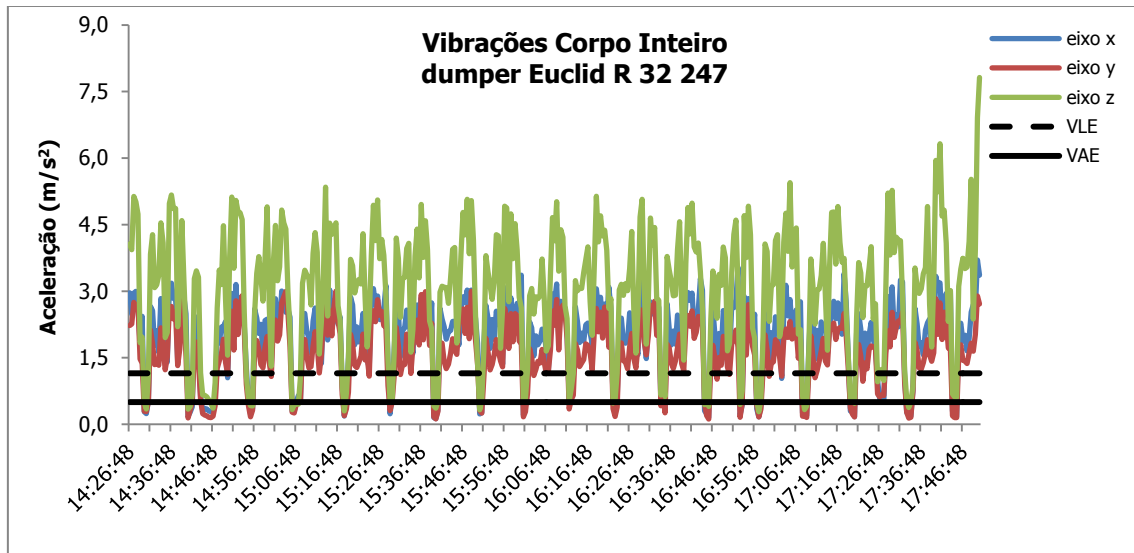


Figura 46: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Euclid R 32 247 - Circuito Pedreira (modelo antigo)

No gráfico da Figura 47 evolução das amplitudes das vibrações corpo inteiro no dumper Volvo A 40 333 circuito britagem - observam-se claramente seis paragens do motor que ocorreram durante o tempo de registo. Nestes períodos de paragem nota-se uma clara redução da amplitude das vibrações corpo inteiro.

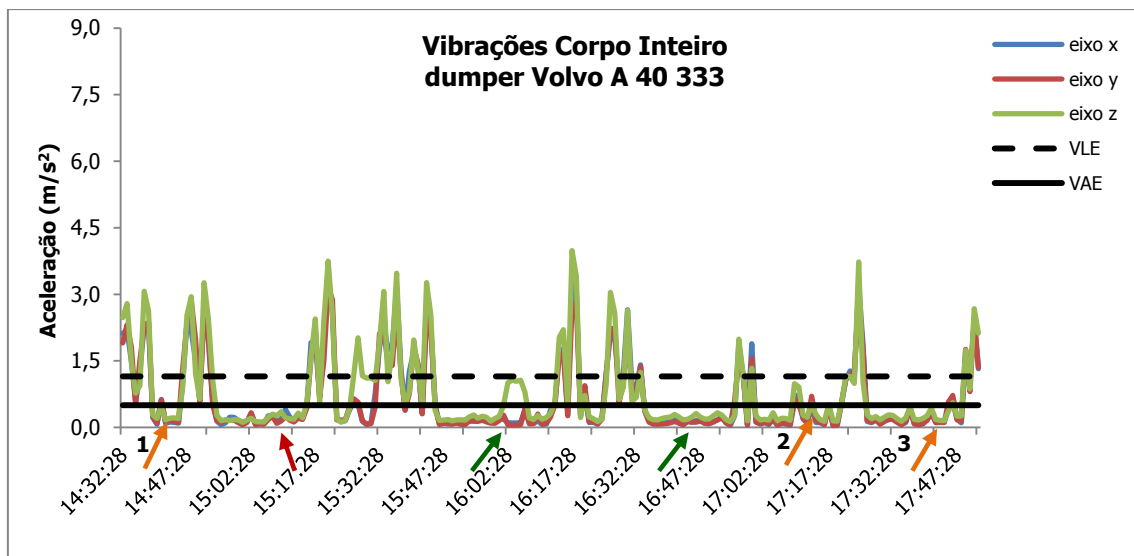


Figura 47: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 333 - circuito britagem (modelo novo)

Legenda 5

- Paragem - momento de carga mais demorado
- Motor desligado
- Motor ligado
- Manobras de posicionamento na bancada

As paragens assinaladas com uma seta laranja e numeradas de um a três, correspondem a um período de tempo mais demorado durante a carga. A paragem 1 é justificada pelo tempo de espera de carga no silo para se proceder à carga do dumper. As paragens 2 e 3, correspondem a uma mudança operativa do dumper que inicialmente estava a ser carregado diretamente dos

silos e, a partir das 17h00, a carga da báscula passou a ser feita diretamente do infra do britador secundário. Deste modo, o tempo de carga é mais longo.

As outras três paragens correspondem a tempos de espera junto ao silo, antes da operação de carga direta do dumper a partir deste, em duas das quais (assinaladas com uma seta verde) a espera foi feita com o motor ligado. Numa dessas paragens observava-se um valor anómalo da amplitude da componente z, que poderá ser justificada pelo ajuste/movimentações do banco por parte do operador. A terceira (seta vermelha) corresponde a um tempo de espera com o motor desligado.

Analisando estas três paragens verifica-se que, tanto com o motor ligado como desligado, existem registos das acelerações. Uma possível justificação para este facto é a circulação de outros camiões e máquinas na área circundante ao dumper.

Observa-se também que não existe um eixo predominante de vibração, verificando-se que todos os eixos apresentam amplitudes elevadas e muito similares.

No gráfico da Figura 48 (conforme legenda 5) encontra-se representada a evolução das vibrações de corpo inteiro no Volvo A 40 333, no circuito pedreira.

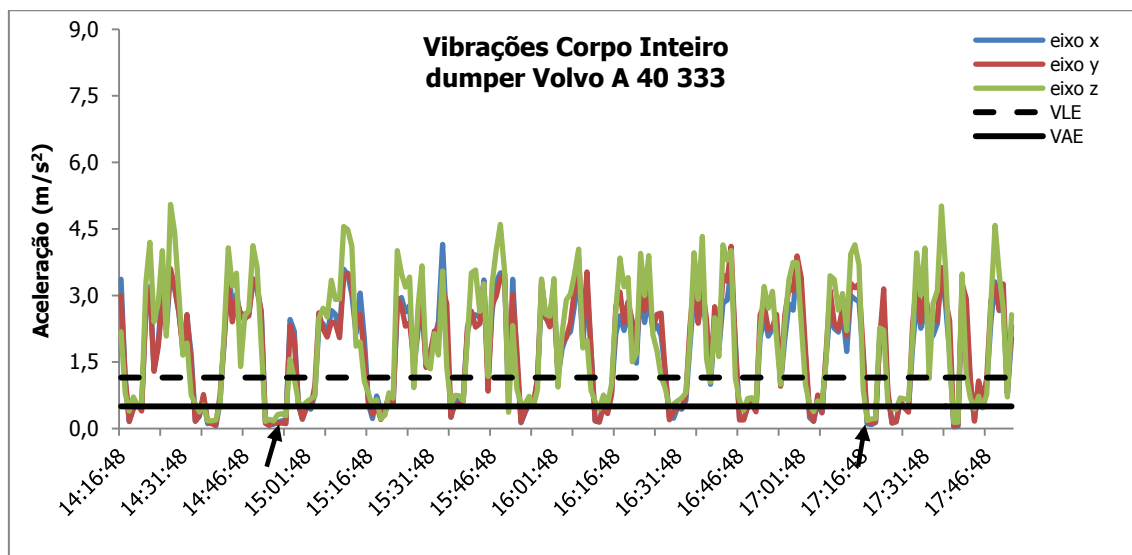


Figura 48: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 333 - circuito pedreira (modelo novo)

Analisando o gráfico da Figura 48 observam-se dois momentos (assinalados com uma seta preta), onde se verifica uma redução do valor da amplitude das vibrações. Esta redução ocorreu devido a um período de espera de carga (o dumper Volvo A 40 969 encontrava-se em carga) e de operações de manobra de colocação do dumper à carga pelo britador primário.

Analisando os eixos de vibração, constata-se que não existe um eixo predominante ao longo do período de recolha de dados.

A Figura 49 e a Figura 50 representam os gráficos da evolução das amplitudes das vibrações corpo inteiro para o Volvo A 40 969, operado por um motorista diferente do Volvo A 40 333.

A Figura 49 (conforme legenda 5) representa a evolução das vibrações de corpo inteiro no Volvo A 40 969, no circuito da britagem. Analisando o gráfico observam-se quatro situações anómalas, duas paragens (seta verde), e dois momentos de manobras de posicionamento do dumper (seta preta). As paragens, assinaladas com uma seta preta, ocorreram devido aos tempos de espera e manobras de posicionamento para a carga, pois o silo não continha material suficiente para a carga do dumper.

As outras duas paragens (seta verde) ocorreram, também, devido ao tempo de espera para a carga do dumper a partir do silo. Contudo, aquando destas paragens o dumper já se encontrava devidamente posicionado, não se tendo verificado a mesma situação descrita anteriormente.

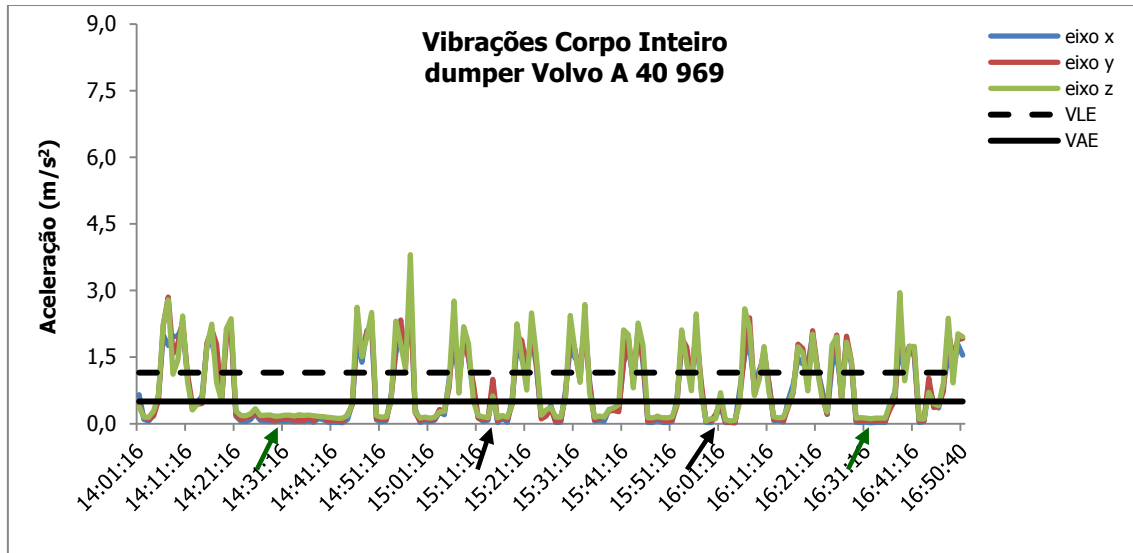


Figura 49: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 969 - circuito britagem (modelo novo)

Analisando os eixos de vibração, constata-se que não existe um eixo predominante ao longo do período de recolha de dados.

O gráfico da Figura 50 (conforme legenda 5) esquematiza a evolução das vibrações de corpo inteiro no Volvo A 40 969, no circuito pedreira.

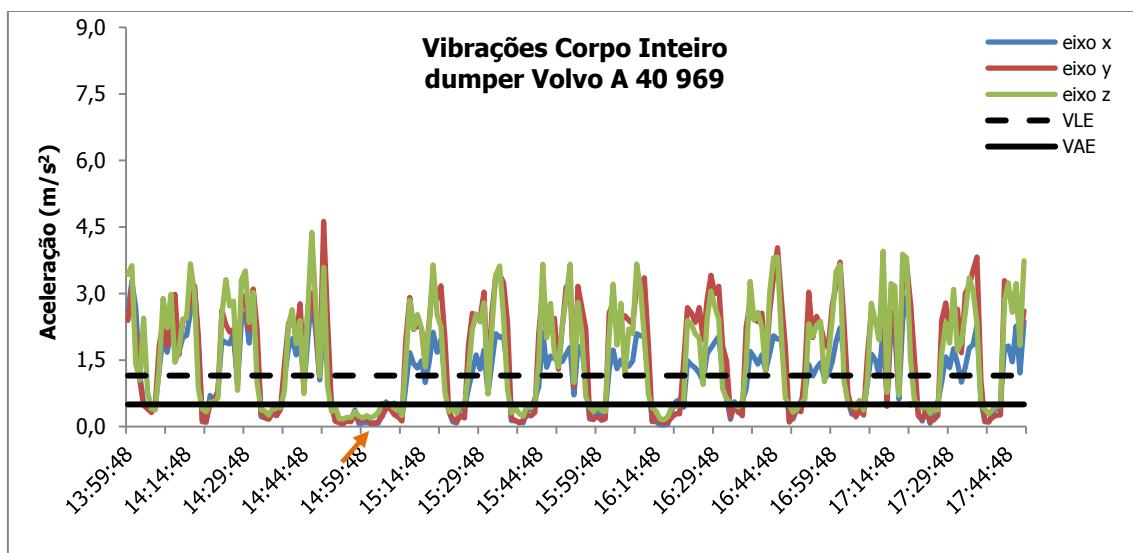


Figura 50: Evolução das vibrações corpo inteiro, dumper Volvo A 40 969 - circuito pedreira (modelo novo)

Analisando o gráfico observa-se uma paragem com o motor ligado (seta laranja). Esta paragem ocorreu devido a um período mais longo da carga, justificada pelo encravamento do britador primário.

Avaliando os eixos de vibrações verifica-se que não existe um eixo predominante.

Comparando os resultados obtidos para os dumpers Volvos A 40 333, Volvo A 40 969 (modelo novos), verifica-se que a aceleração das vibrações é idêntica nos três eixos, independentemente do circuito em causa. Isto pode dever-se quer ao estado/tipo do pavimento, quer ao estado dos pneus e, eventualmente, ao facto do sistema de amortecimento do assento do equipamento não se encontrar adaptado ao peso do operador ou apresentar uma avaria.

No caso do dumper Euclid R 32 247 (modelo antigo), verifica-se que o eixo dos z apresenta um valor predominante, que poderá ser justificado pelo estado/tipo do pavimento e ainda pelo estado dos pneus.

4.3.3 Pá carregadora

Os gráficos da Figura 51 e da Figura 52 mostram a evolução das amplitudes das vibrações de corpo inteiro da pá carregadora CAT 966F e CAT 980 G, respetivamente.

O gráfico da Figura 51 (ver legenda 6) mostra a evolução das vibrações de corpo inteiro na pá carregadora.

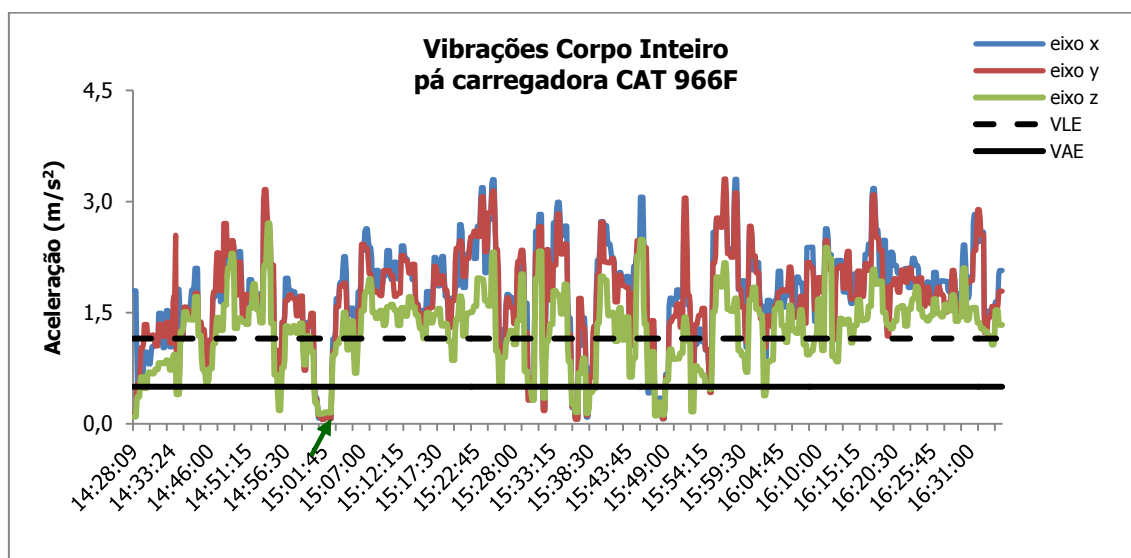


Figura 51: Evoluções das vibrações corpo inteiro, pá carregadora CAT 966F (modelo antigo)

Legenda 6

- Motor ligado
- Motor desligado

Analisando a Figura 51 constata-se que o valor da amplitude de vibração corpo inteiro não centra o seu valor máximo num só eixo, sendo que as vibrações transversais (eixo x e y) são as que apresentam valores mais elevados. Esta situação pode ser explicada pelo tipo de tarefas inerentes à atividade realizada pela pá: empurrar, manobras de posicionamento e arranques bruscos e, ainda, ao tipo de terreno onde operam (ver Figura 25) e/ou, eventualmente, do sistema de amortecimentos do assento do equipamento.

O gráfico da Figura 52 (conforme legenda 6) mostra as vibrações corpo de inteiro na pá carregadora CAT 980 G. Observava-se claramente três momentos em que o motor esteve desligado (seta vermelha). Estas paragens correspondem a momentos de espera durante o ciclo de trabalho, devido à falta de material. Com exceção da paragem entre as 16h-16h45m que ocorreu devido a trabalhos diversos na pedreira.

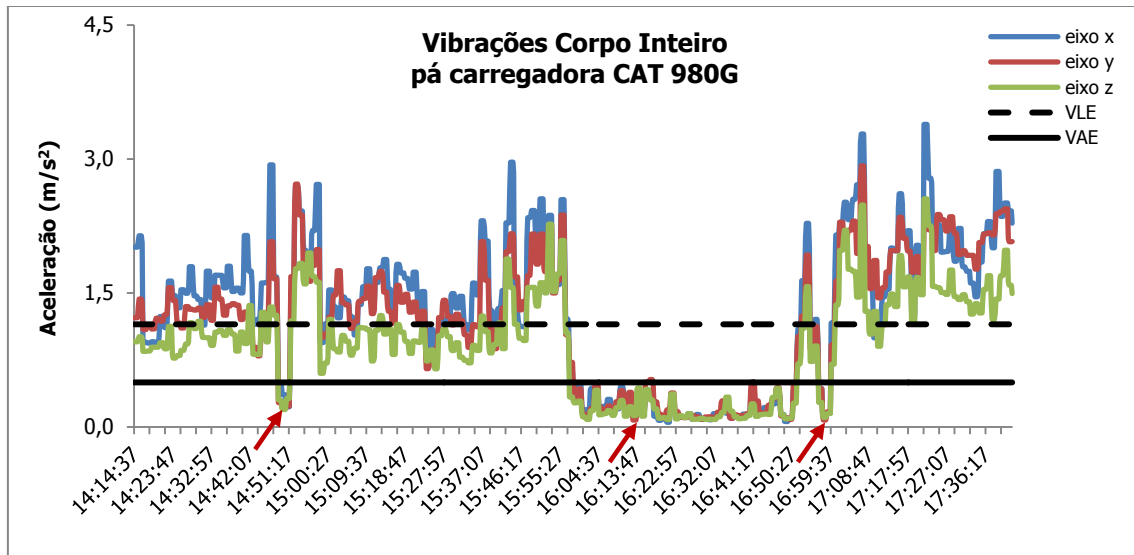


Figura 52: Evoluções das vibrações corpo inteiro, pá carregadora CAT 980 G (modelo novo)

Tal como acontecia com a pá carregadora CAT 966F, também se observa para a pá carregadora CAT 980G a inexistência de um eixo predominante. Verifica-se que as vibrações transversais (eixo x e y) apresentam valores mais elevados. Esta situação pode ser resultante das operações (empurrar, manobras de posicionamento e arranques bruscos) que estão a realizar e do tipo de terreno em que operam e, eventualmente, do sistema de amortecimentos do assento do equipamento.

Comparando os valores obtidos para ambas as pás constata-se que a pá CAT 966 F apresenta os valores das amplitudes de vibração mais elevados. Isso poderá dever-se ao facto de se tratar de uma máquina com alguns anos e o sistema de amortecimento do banco não se encontrar nas melhores condições.

5 CONCLUSÕES

Os objetivos principais desta dissertação englobam a caracterização das variáveis ocupacionais PM_{10} , ruído e vibrações (corpo inteiro e sistema mão-braço) no interior das cabines dos equipamentos do sistema de carga e transporte, numa exploração a céu aberto e verificar a existência de relações entre as variáveis ocupacionais com os parâmetros produtivos.

Relativamente às poeiras verificou-se que em todas as máquinas, pá carregadora CAT 966 F, CAT 980G, dumpers Euclid R 3 247, Euclid R 32 248, Volvo A 40 333 e Volvo A 40 969, os valores são mínimos, estando abaixo do limite legal estabelecido pelo Decreto-Lei nº 162/90 de 22 de Maio, 1 mg.m^{-3} , valor considerado neste trabalho, tendo em conta que o teor de sílica é superior a 25%.

No que diz respeito ao ruído verifica-se que os valores obtidos estão abaixo dos limites legais estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 182/2006, valor-limite de exposição 87dB (A), valor de ação superior 85 dB (A) e inferior 80 dB (A).

Analisando o processo produtivo (circuito pedreira e circuito britagem) verifica-se que é no circuito pedreira onde se obtêm os valores das amplitudes mais elevadas. Sendo que as principais fontes de ruído, são:

- Fragmentação do material pelo britador móvel;
- Descarga do material fragmentado na balsa vazia do dumper;
- Choque do material entre si;
- Ruído do motor.

Comparando os resultados obtidos para os Euclid R 32 (modelo antigo) e os Volvos A 40 (modelo novo) verifica-se que a amplitude do ruído no interior da cabine dos Volvos é significativamente menor. Isto deve-se ao facto, dos Euclid serem máquinas cujo valor máximo do sistema de insonorização da cabine é de 77 dB (A), enquanto nos Volvo A 40 o valor máximo é de 72 dB (A). E, ainda, ao facto de os operadores dos Volvos circularem com a janela fechada.

Para as pás carregadoras CAT 966F (modelo antigo) e CAT 980G (modelo novo), verifica-se que a CAT 966 F apresenta uma amplitude de ruído maior que pode ser justificado pelo número elevado de horas de trabalho que esta última apresenta. Sendo que o elevado ruído produzido pelo motor poderia indicar a necessidade de manutenção. Contudo, verifica-se que em ambas, os picos máximos correspondem ao ruído produzido pelo motor no momento em que se encontra a empurrar os resíduos.

Tendo em conta os resultados obtidos para o ruído, não são apontadas medidas de controlo. Contudo é necessário que se realizem avaliações periódicas das máquinas a fim de se garantir que os valores se encontram dentro dos limites legais.

Relativamente às vibrações o Decreto-Lei nº 46/2006 estabelece os seguintes valores legais, para o sistema mão-braço, 5 m.s^{-2} valor-limite de exposição; $2,5 \text{ m.s}^{-2}$ valor de ação de exposição. Para o corpo inteiro, $0,5 \text{ m.s}^{-2}$ valor-limite de exposição; $1,15 \text{ m.s}^{-2}$ valor de ação de exposição.

Ao longo deste estudo, constatou-se que, para o sistema mão-braço os valores obtidos estão abaixo dos limites legais. No entanto, para as vibrações corpo inteiro e em todas as máquinas, os valores estão acima dos valores legais. Como principais e possíveis causas de fontes de vibrações poderão ser apontadas as seguintes:

- Estado/tipo de pavimento;
- Estado dos pneus;
- Sistema de amortecimento do assento do equipamento não se encontrar adaptado ao peso do operador ou até mesmo apresentar uma anomalia no funcionamento.

No caso das vibrações algumas medidas de controlo podem ser adotadas de forma a evitar e minimizar o risco de lesão e exposição do trabalhador, nomeadamente:

- Manutenção das pistas da pedreira, principalmente após um período de chuva;
- Manutenção e substituição dos assentos dos veículos para atenuar este agente;
- Verificação e acompanhamento de uma check-list de inspeção do veículo, especialmente, na manutenção dos sistemas de suspensão das máquinas e calibragem adequada dos pneus;
- Prever um assento que seja adaptado a todos os operadores, que utilizam aquele tipo de máquinas;
- Minimizar as distâncias a percorrer, entre a frente de desmonte e a torva;
- Utilização de cintos de segurança para manter os condutores na melhor posição, permitindo-lhe ter as costas apoiadas;
- Realização de exames médicos para conhecer o estado de saúde dos trabalhadores e, assim, atuar nos casos de maior suscetibilidade.
- Diminuição do período de trabalho ou mesmo a rotação entre trabalhadores.

6 PERSPETIVAS FUTURAS

Com este trabalho, demonstrou-se a importância das poeiras, ruído e vibrações como variáveis de risco para os operadores das máquinas do sistema de carga e transporte da indústria extrativa a céu aberto. Contudo, sendo na atividade extrativa a investigação diminuta, é fundamental a continuação da investigação.

Como trabalhos futuros de investigação para este processo produtivo nesta atividade, destacam-se:

1. Definição de uma metodologia de recolha de dados de forma a maximizar a informação;
2. Desenvolvimento de metodologias de formação adequadas, das práticas e processos de forma a melhorar as condições de trabalho;
3. Analisar a prevalência de lesões ototraumáticas nos motoristas, através de audiogramas;
4. Estudar a exposição ao ruído com o desempenho cognitivo na atividade de condução;
5. A forma mais comum de controlo da transmissão das vibrações corpo inteiro é através da suspensão do assento. Existem vários tipos de assentos, deste modo, seria importante estudar se um tipo de assento é adequado ou não para a atividade desenvolvida;
6. Estudar a influência de diferentes pressões de funcionamento dos pneus nas vibrações transmitidas ao operador;
7. Desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam evitar ensaios de vibrações em máquinas com condutor;
8. Monitorizar sinais corporais dos indivíduos durante a exposição, como pressão sanguínea e temperatura corporal;
9. Elaboração de questionários sobre informações antropométricas, experiência de trabalho, lesões músculo-esqueléticas, exposição a ruído, condições de trabalho;
10. Aumentar significativamente o tamanho da amostra através de estudos idênticos noutras pedreiras.

7 BIBLIOGRAFIA

ACT, Autoridade para as Condições do Trabalho. 2008. ACT promove campanha nacional de prevenção dos riscos de exposição à sílica. *ACT Autoridade para as condições do Trabalho*. [Online] 2008. [Citação: 27 de Abril de 2011.] <http://www.act.gov.pt/%28pt-PT%29/Itens/Noticias/Paginas/ACTCampanhaPrevencaoSilica.aspx>.

AESST, Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. 2005. União Europeia Diz "Calem esse ruído"- OSHA. *Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho*. [Online] 20 de Abril de 2005. [Citação: 27 de Abril de 2011.] http://osha.europa.eu/pt/press/press-releases/050420_EW2005_Launch_Int.

AESST, Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. 2005. Fact 57. 2005.

—. **2006.** Facts 67 - O ruído em números. Trabalho, Edições da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no, 2006.

Aldien, Y. 2006. Influence of hand-arm posture on biodynamic response of the human hand-arm exposed to Zh- axis. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2006.

Almeida. 2000. Historia natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 2000.

AMDE. Ruído Efeitos Nocivos. [Online] AMDE- Associação de Municípios do Distrito de Évora. [Citação: 11 de Maio de 2011.] http://www.amde.pt/pagegen.asp?SYS_PAGE_ID=452227.

Andersson, Lena e Bryngelsson, Ing-Liss. 2009. Quartz and Dust Exposure in Swedish Iron Foundries. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2009.

Anflor, Carla Tatiana Mora. 2003. *Estudo da Transmissibilidade da vibração no corpo humano na direcção vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul , 2003.

Arezes, Pedro. 2002. A exposição ocupacional ao ruído em Portugal. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. 2002, Vol. 20.

Arezes, Pedro e Miguel, Sérgio. 2009. Ruído & protecção individual auditiva. 2009.

Arezes, Pedro. 2002. *Percepção do Risco de Exposição Ocupacional ao Ruído*. Guimarães : Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2002.

Azevedo, Andréa Pires de Mello de. 2004. *Efeito de produtos químicos e ruído na Gênese de perda auditiva ocupacional*. s.l. : Dissertação apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública Fundação Oswaldo Cruz, 2004.

Barbosa, Maria Susana Antunes. 2009. *Ruído e Desempenho Cognitivo dos Professores:Um estudo exploratório*. Guimarães : Universidade do Minho - Escola de Engenharia, 2009.

Bon, Ana Maria Tibiriçá. 2006. *Exposição Ocupacional à Silica e Silicose entre Trabalhadores de Marmorarias, no Município de São Paulo*. São Paulo : Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo , 2006.

Bovenzi, M. 1994. Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers. *Occupational and Environmental Medicine*. 1994.

Braga, Cristiano Augusto da Costa. 2007. *Exposição Ocupacional a Vibrações no sistema mão-braço no sector da construção*. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

Branco, Jacqueline Castelo. 2009. *Estudo Integrado de variáveis ocupacionais na Industria Extractiva*. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

- Campos, Catarina. 2011.** Exposição combinada: Ruído e Substâncias Ototóxicas. *SHO2011*. 2011, p. 155.
- Cantarino, Sofia. 2008.** Exposição de trabalhadores a vibrações mecânicas no sector da madeira e do mobiliário e no sector têxtil e do vestuário. *Acústica 2008*. 2008.
- Coggins, Marie A. 2010.** Evaluation of Hand-Arm and Whole-Body Vibrations in Construction and Property Management. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2010, Vol. 54.
- Costa, Helena Sofia Sousa. 2009.** *Exposição ao Ruído Ocupacional e sua repercussão na saúde do trabalhadores da empresa CMP - Maceira*. s.l. : Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, 2009.
- Costa, Nelson. 2009.** *Vibrações Higiene Ocupacional*. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- Cunha, Irlon de Ângelo da. 2006.** *exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo:proposição de procedimento alternativo de medição* . s.l. : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo , 2006.
- Dias, Marciana. 2001.** Efeitos da Poluição Sonora no Ser Humano. *TecnoHospital*. 2001.
- Dupuis, H. 1987.** Whole-body vibration and disorders of. *International Archives of Occupational and Environmental*. 1987.
- Fernandes, Márcia. 2002.** Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração. *Revista Brasileira Otorrinolaringologia*. 2002.
- Filho, Gilsée Ivan Regis. 2010.** Exposição ocupacional do cirurgião-dentista à vibração mecânica transmitida através das mãos:um estudo de caso. *Produção*. 2010, Vol. 20.
- Fundacentro. 2010.** A Silica. *Sílica*. [Online] 2010. [Citação: 26 de Abril de 2011.] <http://www.zirtec.com.br/area/silica.htm>.
- Futatsuka. 2005.** Hand Arm Vibration Syndrome among Quarry Workers in Vietnam. *Journal of Occupational Health*. 2005.
- GEP, Gabinete de Estratégia e Planeamento. 2009.** *Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho*. s.l. : Gabinete de Estratégia e Planeamento, 2009.
- Griffin. 1996.** *Handook of Human vibration*. London : Academic Press, 1996. p. 1996.
- Gruenzner, Gerrit. 2003.** *Avaliação da Poeira de Sílica: Um estudo de caso em uma pedreira na Região metropolitana de São Paulo*. São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo , 2003.
- Huizer, Daan e Spee, Ton. 2010.** Exposure to respirable dust and crystalline silica in bricklaying education at Dutch vocational training centers. *American Journal of Industrial Medicine*. 2010, Vol. 53.
- IGAOT, Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território. 2004.** *Tématique das Pedreiras*. s.l. : Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do desenvolvimento Regional, 2004.
- Iman, Ronald L. 1983.** *A modern approach to statistics*. s.l. : John Wiley & Sons, 1983.
- Institute, Silsoe Research. 2005.** *Whole-body vibration on construction,mining and quarrying machines - Evaluation of emission and estimated exposure levels*. s.l. : Health & Safety Executive, 2005.
- Izumi, Renata. 2006.** Efeito das vibrações de corpo inteiro na audição . *Revista CEFAC*. 2006, Vol. 8.
- Kumar, Sharawn. 2004.** Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied Ergonomics*. 2004.
- Landen, Deborah. 2010.** Noise Exposure and Hearing Loss Among Sand and Gravel Miners. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*,. 2010.

- Lima, Maria Margarida teixeira Moreira. 2006.** Método de Determinação da Sílica Cristalina na Poeira dos Processos de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*. 2006.
- Lucas, Francisco. 2007.** Exigências funcionais para luvas anti-vibração. *7º Congresso Internacional de Segurança, Higiene e Saúde do trabalho*. 2007.
- Lundström. 1999.** Exposure-response relationship between hand-arm vibration and vibrotactile. *American Journal of Industrial Medicine*. 1999, Vol. 35.
- Mabbot. 2001.** *Heavy Vehicle Seat Vibration and Driver Fatigue*. Sidney : Australian Transport Safety Bureau, 2001.
- Macedo, Ricardo. 2006.** *Manual de Higiene do Trabalho na Indústria*. s.l. : Fundação Calouste Gulbenkian, 2006.
- Maia, Liliana Maurícia Neves. 2008.** *A influência da protecção individual auditiva na percepção de estímulos acústicos de alarme*. s.l. : Universidade do Minho, 2008.
- Martin. 2000.** Occupational risk factors for lung cancer in the French electricity and gas industry. *AM J Epidemiol*. 2000.
- Martins, Ana Rosa Bezerra. 2009.** *Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edificações verticais*. Recife : Universidade de Pernambuco - Escola Politecnica de Pernambuco, 2009.
- Matos, Maria Luísa. 2004.** Avaliação de Ruído em Postos de Trabalho na Indústria Extractiva - Um exercício de análise de risco. *Acústica 2004*. 2004.
- . **2010.** Indústria Extractiva : Análise de Riscos Ocupacionais e Doenças Profissionais. *SHO2010*. 2010.
- Merck. 2009.** Silicose - Doenças pulmonares de origem ocupacional- Secção 4: Doenças do aparelho respiratório. [Online] 2009. [Citação: 12 de Maio de 2011.] <http://www.manualmerck.net/?id=64&cn=721>.
- Mergulhão, Filipa Costa. 2009.** *Ruido Ocupacional e sua Percepção pelos Alunos de Medicina Dentária*. Porto : Universidade Fernando Pessoa, 2009.
- Miguel, Alberto Sérgio. 2010.** *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. s.l. : Porto Editora, 2010.
- . **2010.** *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. s.l. : Porto Editora, 2010.
- Milho, Rute Maria Bernardo Jorge. 2009.** *O esforço, o conforto e a vibração no sistema mão-braço, associados à utilização de luvas-vibratórias*. s.l. : Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- Miyamoto, Masabumi. 2000.** An epidemiologic Study of Occupational low back pain in truck drivers. *J Nippon Med Sch*. 3, 2000, Vol. 67.
- Monteiro, Luís. 2008.** *Clinica da Silicose: experiência recente do Hospital de Sousa Martins*. Universidade da Beira Interior : Faculdade de Ciências da Saúde, 2008.
- Murthy. 1995.** Auditory functions in anaesthesia residents during exposure to operating room noise. *The Indian Journal of Medical Research*. 1995.
- Neitzel, Richard. 2005.** The Effectiveness of Hearing Protection Among Construction Workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2005.
- Nepsi. 2006.** *Guia de Melhores Práticas para a protecção da saúde dos trabalhadores através do correcto manuseamento e utilização da sílica cristalina e produtos derivados*. s.l. : The European Network on Silica, 2006.
- NIOSH. 1989.** *Criteria for a recommended Standard:occupational exposure to hand-arm vibration*. 1989.

- Norte, Centro Regional de Saúde Pública do. 2005.** *Saúde na Região Norte Medir para Mudar*. s.l. : Ministério da Saúde, 2005.
- Nunes, Fernando. 2006.** *Segurança e Higiene do Trabalho* . s.l. : Edições Gustave Eiffel, 2006.
- Nyantumbu, Busi. 2007.** Hand–arm vibration syndrome in South African gold miners. *Occupational Medicine*. 2007.
- Okunribido. 2006.** Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling. *Journal of Sound and Vibration*. 2006.
- Palmer. 2002.** Raynaud's phenomenon, vibration induced white finger, and difficulties in hearing. *Occupational Environmental Medicine*. 2002.
- Petavratzi, E, Kingman, S e Lowndes, I. 2005.** Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations. *Minerals Engineering*. 2005.
- Prof2000, Programa. 2000.** Programa Prof2000. [Online] [Citação: 25 de Fevereiro de 2011.] <http://www.prof2000.pt/>.
- Roselman, K.D. 2004.** Silicosis in dental laboratoty technicians - Five States, 1994 - 2000. *CDC Surveillance Summaries*. 2004.
- Santos, Alcinéa Meigikos dos Anjos. 2005.** *Exposição Ocupacional a Poeiras em Marmorarias: Tamanhos de Partículas Característicos* . s.l. : Escola de Engenharia da UFMG - Belo Horizonte, 2005.
- Santos, Carla Cassandra de Souza. 2007.** *Processamento auditivo de militares expostos a ruído ocupacional: um estudo longitudinal*. Brasil : Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- Santos, Cláudia e Norte, Ana. 2009.** Silicose - Breve revisão e experiência de um serviço de pneumologia. *Revista Portuguesa de Pneumologia*. 2009.
- Santos, Luís Conde. 2008.** Vibrações no local de trabalho - casos práticos de avaliação. *Acústica 2008*. 2008.
- Santos, Rui Pedro Gonçalves Salgado dos. 2009.** *A Implementação do SDA na Redução do Risco de Exposição às poeiras de Sílica Cristalina Respirável*. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- Savione, Daniel. 2010.** *Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço durante a atividade ciclística* . Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- Seshagiri. 1998.** Occupational noise exposure of operators of heavy trucks. *American Industrial Hygiene Association journal* . 1998, Vol. 59.
- Silva, Carlos Alexandre F. 2002.** Síndrome do Túnel do Carpo- Fisioweb WGate. *Fisioweb WGate*. [Online] 2002. [Citação: 16 de Maio de 2011.] http://www.wgate.com.br/conteudo/medicinaesaude/fisioterapia/reumato/tunel_carpo.htm.
- Smets, Martin P.H. 2010.** Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: A comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks. *Applied Ergonomics*. 2010.
- Soares, Arlindo Gonçalves. 1957.** A luta contra a silicose nas minas do Pejão. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*. 1957, Vol. XII.
- Sousa, Florentino Manuel Cabrita. 2006.** *A influência do ruído na comunicação interpessoal*. Lisboa : Universidade Aberta, 2006.
- Standardization, International Organization for. 1997.** ISO 2631:1997 Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements. 1997.
- Stansfeld, Stephen. 2003.** Noise pollution : non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*. 2003, Vol. 68.

Taylor. 1965. Study of Noise and Hearing in Jute Weaving. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1965, Vol. 38.

Trabalho, SOS Medicina do. 2009. SOS Medicina do Trabalho - Colatina /ES . [Online] 2009. [Citação: 12 de Maio de 2011.] <http://www.sosmedicinadotrabalho.com.br/v1/?page=vernoticia&id=355>.

Tzaneva. 2000. Audiological problems in patients with tinnitus exposed to noise and vibrations. 2000.

Vendrame, António Carlos. 2004. Vendrame Consultores associados. *Vendrame Segurança no Trabalho, Saúde e Meio Ambiente*. [Online] 2004. [Citação: 16 de Maio de 2011.] http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/exposicao_ocupacional_as_vibracoes.html.

Ximenes, Gilmar Machado. 2006. *Gestão Ocupacional da Vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança*. s.l. : Universidade Federal Fluminense Centro Tecnológico Profissional em Sistema de Gestão, 2006.

ANEXOS

CÁLCULO INCERTEZA EXPANDIDA

- **Componentes para a incerteza na medição**

A incerteza de medição dos níveis de ruído tem origem nos instrumentos de medição, na falta de repetibilidade da fonte de ruído e na seleção das posições do microfone.

A incerteza refere-se ao nível de pressão sonora contínua equivalente ponderado A $L_{Aeq, T}$ ou ao nível de exposição sonora normalizado a 8h nominais de trabalho, $L_{EX, 8h}$.

- **Determinação da incerteza expandida**

Determinação da incerteza expandida combinada para um dia completo de trabalho.

A expressão geral do nível de exposição sonora $L_{EX, 8h}$, norma NP EN ISO9216:2011

$$L_{EX, 8h} = L_{pA, eqTe} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) dB \quad \text{Equação 13}$$

$L_{pAeq, Te}$ – nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado A para o tempo efetivo de exposição

T_e – duração efetiva do tempo de exposição ao ruído

T_0 – duração de referência – $T_0=8h$

$$L_{pAeqTe} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 * L_{pAeqTn}} \right) \quad \text{Equação 14}$$

L_{pAeqTn} - nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado A de uma amostra n

n – número de amostra

N – número total de amostras

- **Incerteza padrão u_1** (norma NP EN ISO9216:2011)

$$u_1^2 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{pAeqTn} - \overline{L_{pAeqT}})^2 \right]} \quad \text{Equação 15}$$

$\overline{L_{pAeqT}}$ - média aritmética das N amostras do nível contínuo equivalente ponderado A

$$\overline{L_{pAeqT}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{pAeqTn} \quad \text{Equação 16}$$

- **Contribuição da incerteza - $c_1 u_1$** (norma NP EN ISO9216:2011)

Este valor é lido na Tabela C4

- **Incerteza do equipamento – u_2**

Este valor é lido na Tabela C5 da norma NP EN ISO 9612:2011

- **Incerteza posição do microfone – u_3**

Este valor é lido na Tabela C6 da norma NP EN ISO 9612:2011

- **Coefficientes sensibilidade c_2 e c_3** (norma NP EN ISO9216:2011)

Estes valores são lidos na Tabela C3 da norma NP EN ISO 9612:2011

- **Incerteza combinada $u(L_{EX,8h})$** (norma NP EN ISO9216:2011)

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

Equação 17

- **Incerteza expandida** (norma NP EN ISO9216:2011)

$$U(L_{EX,8h}) = 1,65 * u$$

Equação 18

MAPAS DOS CIRCUITOS