

A influência da protecção individual auditiva na percepção de estímulos acústicos de alarme

À minha filha, Joana Sofia

RESUMO

A tese aqui apresentada visa o estudo da influência do uso de protecção individual auditiva na percepção de estímulos acústicos, nomeadamente dos sinais sonoros de alarme.

Para o efeito, foi desenvolvida uma metodologia que tem como objectivo simular, em laboratório, a situação real existente em meio industrial e assim, analisar a percepção da distância e localização espacial de estímulos acústicos na utilização de protecção auditiva. Relativamente ao tipo de protectores auditivos ensaiados optou-se por testar um dispositivo de cada tipo, optando-se por dar preferência aos modelos mais frequentemente utilizados em meio industrial. Deste modo, foi seleccionado um modelo de tampão auditivo e, entre os protectores auriculares, ou do tipo abafador, optou-se por seleccionar um modelo de protector de funcionamento passivo e um modelo de protector de funcionamento activo.

Como estímulo acústico foi utilizado uma fonte tipicamente encontrada na indústria, a sirene identificadora de marcha-atrás existente nos empilhadores e outros veículos motorizados. Os testes foram realizados em local amplo, efectuando-se uma deslocação rápida da fonte do estímulo acústico (sirene) e avaliou-se a capacidade de resposta, em termos de identificação da distância e da localização da fonte, dos utilizadores com os vários tipos de protectores auditivos seleccionados.

Os resultados obtidos e a análise estatística destes permitiram verificar que os protectores, quer do tipo passivo, quer do tipo activo, dificultam a localização auditiva da fonte sonora (sirene) e, como tal, dever-se-á equacionar a utilização deste tipo de protectores em locais de trabalho em que existam dispositivos de alarme semelhantes ao utilizado nos testes, como por exemplo, em empilhadores. Da mesma forma, foi possível verificar que os tampões auditivos foram aqueles protectores que revelaram uma menor interferência com a correcta percepção da origem dos estímulos acústicos.

Com este estudo, também se verificou que a principal dificuldade surgida em todas as situações (com e sem protectores auditivos) foi a identificação da distância da fonte sonora. Por outras palavras, a dificuldade de identificação da distância do estímulo sonoro não parece ser afectada pela utilização da protecção auditiva.

Palavras-Chave: Ruído, Protecção Auditiva, Percepção, Orientação espacial, Sinais de alarme.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study the influence of the use of individual hearing protection in perception of acoustic stimuli, particularly acoustical warning signals.

For this purpose, a methodology was developed to simulate, in a laboratory environment, the real situations existing in the industrial environment and thus to examine the perception of distance and space localization of acoustic stimuli when using hearing protection devices. In what concerns the type of hearing protectors to be tested, the choice was oriented to test one of each type of devices and giving preference to the most used models in industry. Accordingly, it were selected 3 different type of devices, namely, a passive earplug, a passive earmuff, and an active earmuff.

As acoustic stimulus it was used a typical acoustic source found in the industry, the alarm siren used to identify the reverse gear in the lift trucks and other motorized work vehicles. Tests were carried out in a large room, with sudden displacement of the source of acoustic stimulus (alarm siren), and evaluating the perception of the users, both in what regards the distance identification and source localization. This was carried out with the use of the selected hearing protection devices, as well as with no hearing protection.

The obtained results and the statistical analysis carried out have shown that both passive and active hearing protectors devices seems to difficult the localization of the sound source (alarm siren) and, in accordance, the use of such devices should be carefully pondered in workplaces where there are acoustical warning signals similar to that used in this test, as for example, the reversal gear alarm siren in lift trucks. Similarly, it was possible to verify that the earplugs were those who showed a lower interference with the correct perception origin of the acoustic stimuli.

From this study, it was also possible to verify that the main difficulty observed in all situations (with and without hearing protection devices) arises from the identification of the distance from the noise/acoustical source. In other words, the observed difficulty in the distance identification of the noise/acoustical stimulus does not appear to be affected by the use of hearing protection devices.

Keywords: Noise, Hearing Protection Devices, Perception, Spatial Orientation, Warning Signals.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 – Anatomia da Audição -----	5
1.2 – Aparelhos usados na medição do ruído -----	6
4.1 – Tampões pré-moldados -----	14
4.2 – Tampão moldado individualmente -----	14
4.3 – Tampão moldável -----	14
4.4 – Tampões com banda flexível -----	15
4.5 – Tampões com banda rígida -----	15
4.6 – Protector Auricular Passivo com banda de cabeça -----	15
4.7 – Protector Auricular Activo -----	16
4.8 – Protector Auricular de comunicação -----	17
4.9 – Protector Auricular com rádio receptor -----	17
4.10 – Protector Auricular com protector da face e capacete de protecção -----	17
7.1 – Caracterização da amostra por sexo -----	30
7.2 – Empilhador com sirene identificadora de marcha-atrás -----	31
7.3 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene para as distâncias usadas nos ensaios	32
7.4 – Representação do sinal sonoro em função do tempo: 10 segundos -----	33
7.5 – Representação de um impulso isolado em função do tempo (aprox. 1 segundo) -----	33
7.6 – Representação do Zoom do sinal em função do tempo (aprox. 0,2 segundos) -----	33
7.7 – Dispositivo móvel usado nos ensaios -----	34
7.8 – Esquema de posicionamento das posições e distâncias dos pontos dos testes -----	34
7.9 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto A e B -----	36
7.10 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto C e D -----	36
7.11 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto E e F -----	36
7.12 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto G e H -----	37
7.13 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto I -----	37
7.14 – Tampão <i>EAR Ultrafit</i> -----	38
7.15 – Protector Passivo <i>Bilsom 747</i> -----	38
7.16 – Protector Activo <i>Ceotronics</i> -----	39
7.17 – Visualização da sala de teste -----	41

8.1 – Desvios totais em relação ao parâmetro “sentido” e ao parâmetro “distância” para cada tipo de protector -----	49
8.2 – Percentagem de acertos em relação ao parâmetro “sentido” -----	50
8.3 – Percentagem de acertos em relação ao parâmetro “distância” -----	50
8.4 – Média dos desvios nas respostas em função da condição de protecção -----	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Página
2.1 – Valores limite de exposição e valores de acção previstos no DL182/2006 -----	10
7.1 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nas distâncias usadas nos ensaios -----	31
7.2 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos A, B e C -----	35
7.3 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos D, E e F -----	35
7.4 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos G, H e I -----	35
7.5 – Características de atenuação do Tampão <i>EAR Ultrafit</i> -----	38
7.6 – Características de atenuação do Protector Passivo <i>Bilsom 747</i> -----	38
7.7 – Características de atenuação do Protector Activo <i>Ceotronics</i> -----	39
7.8 – Atenuação do Tampão em cada um dos pontos de ensaio -----	39
7.9 – Atenuação do Protector Passivo em cada um dos pontos de ensaio -----	40
7.10 – Procedimento de ensaio -----	41
7.11 – Posições a testar para cada participante -----	43
8.1 – Pontuação atribuída às respostas em função da posição “alvo” -----	45
8.2 – Desvio das respostas dadas para cada participante e para cada tipo de protector -----	46
8.3 – Frequência de respostas (N=60) em relação ao parâmetro “sentido” -----	47
8.4 – Percentagem de respostas em relação ao parâmetro “sentido” -----	47
8.5 – Frequência de respostas em relação ao parâmetro “distância” -----	48
8.6 – Percentagem de respostas em relação ao parâmetro “distância” -----	48
8.7 – Percentagens de respostas com acerto na posição “alvo” (em simultâneo nos parâmetros “sentido” e “distância”) -----	48
8.8 – Percentagens de respostas com desvios nos parâmetros “sentido” e “distância” -----	49
8.9 – Valores do desvio da resposta no sentido (N=60) em função da condição de protecção do sujeito -----	51
8.10 – Análise ANOVA para a variável referente ao desvio da resposta no sentido e a condição de protecção do sujeito de ensaio -----	51
8.11 – Valores do desvio da resposta na distância (N=60) em função da condição de protecção do sujeito -----	52
8.12 – Análise ANOVA para a variável referente ao desvio da resposta na distância e a condição de protecção do sujeito de ensaio -----	52

ÍNDICE GERAL

Resumo	v
Abstract	vi
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	ix
Índice Geral	x
Agradecimentos	xii

Introdução **1**

Parte 1 – Revisão Bibliográfica **3**

Cap.1 – Ruído e Audição.....	4
1.1 – Audição	4
1.2 – Medição do ruído	6
1.3 – Efeitos da exposição ao ruído	7
1.3.1 – Acção do ruído sobre o aparelho auditivo	7
1.3.2 – Acção do ruído sobre o organismo em geral	7
1.3.3 – Outros efeitos do ruído	8
Cap.2 – Enquadramento legal	9
2.1 – Exposição pessoal diária ao ruído	9
2.2 – Nível de pressão sonora de pico	9
2.3 – Nível sonoro contínuo equivalente	10
2.4 – Valores limite de exposição e valores de acção	10
Cap.3 – Medidas de controlo e prevenção	11
Cap.4 – Protecção Individual Auditiva	12
4.1 – Classificação dos Protectores Individuais Auditivos	13
4.2 – Atenuação dos Protectores Individuais Auditivos	18
4.2.1 – Métodos de determinação da atenuação dos protectores	18
i. Método de Banda de Oitava	18
ii. Método HML	19
iii. Método SNR (Single Number Rating)	20
4.2.2 – Audibilidade de sinais sonoros e inteligibilidade	21
Cap.5 – Localização sonora	22
5.1 – Influência do uso de protectores auditivos	23
5.1.1 – Mascaramento	24

5.1.2 – Outros factores afectam a detectibilidade do sinal sonoro -----	26
---	----

Parte 2 – Desenvolvimento do Trabalho	28
--	-----------

Cap.6 – Objectivos -----	29
Cap.7 – Metodologia -----	30
7.1 – Participantes, equipamento e local de ensaio -----	30
7.2 – Protectores auriculares testados -----	37
7.3 – Protocolo de ensaio -----	40
Cap.8 – Resultados e discussão -----	45
8.1 – Critérios para avaliação -----	45
8.2 – Resultados -----	46
8.3 – Análise estatística dos desvios das respostas -----	51
Cap.9 – Conclusões e Desenvolvimentos futuros -----	55

Bibliografia	57
---------------------	-----------

Anexos	66
---------------	-----------

1 – Impresso utilizado pelo participante nº 1 -----	67
2 – Cálculos auxiliares para determinar a atenuação dos protectores -----	69

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu sincero agradecimento ao meu Orientador, Doutor Pedro Arezes, por todo o seu apoio e disponibilidade demonstrada ao longo da elaboração da tese, pelos seus conhecimentos e pelo sentido crítico manifestado na sua orientação.

Gostaria de agradecer também a todos os que participaram nos ensaios, pois sem eles não seria possível efectuar este estudo.

Não posso deixar de agradecer também aos meus Pais e ao meu Marido João, por todo o apoio e compreensão que tiveram comigo nestes últimos meses.

Finalmente, um agradecimento muito especial para a minha filha, Joana, por todo o tempo que não lhe pude dedicar em prol da realização desta tese.

INTRODUÇÃO

Para quem tem medo, tudo são ruídos. (Sófocles)

Nestes últimos anos, o fenómeno do ruído tem ocupado um lugar de destaque nas preocupações da sociedade, uma vez que este afecta uma grande parte da população e apresenta uma grande diversidade nas fontes de emissão.

O ruído pode ser definido como o conjunto de sons agradáveis e desagradáveis, com múltiplas origens e que pode provocar incómodo ou afectar o estado de saúde das pessoas afectadas, não só psicologicamente mas também física e socialmente. Assim, o ruído está muito ligado à percepção individual e ao julgamento negativo pelos danos que a exposição a este pode causar.

A percepção auditiva é um processo multidimensional que envolve comportamento psicoacústico e fisioacústico do sistema auditivo dos dois ouvidos, experiência anterior de cada ouvinte e estado mental e físico.

A percepção auditiva é uma das vias importantes, tal como a visão, para se aceder ao conhecimento do espaço, sendo útil distinguir dois aspectos:

- as informações relacionadas com a distância do estímulo sonoro,
- a sua localização espacial.

Mais de 9 milhões de trabalhadores estão diariamente expostos ao ruído ocupacional superior a 85 dB(A) (EPA, 1981). O ruído não só pode causar perda auditiva, como constitui também uma fonte de degradação das comunicações, da segurança e do desempenho no trabalho (de acordo com Suter, 1986). Como consequência, o recurso aos equipamentos de protecção individual auditiva tem vindo a aumentar. Contudo, nem sempre a sua selecção é feita da forma mais eficiente. Além do mais, muitos trabalhadores queixam-se que o uso de equipamentos de protecção individual auditiva não lhes permitem ouvir os sinais de aviso (Wilkins e Martin, 1987).

É também consensual que, para além das características de atenuação dos equipamentos de protecção individual auditiva, existem outros factores importantes que afectam a percepção individual para ouvir sinais auditivos. Estes factores incluem o conforto, a atenção (ou a sua falta), as características dos sinais de aviso e a perda auditiva que o indivíduo possa ter (Christian, 1999).

Vários estudos foram efectuados ao nível da percepção de sinais auditivos de aviso existentes no ruído e com o uso dos equipamentos de protecção individual auditiva. A maioria desses estudos centrou-se nas características de atenuação e na inteligibilidade da fala, ou na comunicação verbal. Contudo, alguns deles, tais como o levado a cabo por Abel e Spencer (1997) estudaram o efeito dos equipamentos de protecção individual auditiva na variedade de detecção de tarefas audíveis.

Pelo exposto, o presente trabalho pretende estudar em detalhe algumas questões relacionadas com a influência da utilização da protecção individual auditiva na localização e percepção da distância de uma fonte sonora de alarme existente normalmente na indústria.

A presente tese está dividida em duas partes, a primeira aborda uma Revisão Bibliográfica do tema e a segunda descreve o desenvolvimento do trabalho realizado nomeadamente os objectivos, a metodologia utilizada, os resultados e discussão, as conclusões tiradas com a elaboração desta tese e as propostas para futuros desenvolvimentos.

Parte 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Capítulo 1 – RUÍDO E AUDIÇÃO

O indivíduo está constantemente exposto ao ruído, seja no trabalho, na rua ou mesmo em casa. Adaptamo-nos a ele e, sem que percebamos, torna-se parte da nossa rotina diária.

Do ponto de vista físico pode definir-se o ruído como toda a vibração mecânica estatisticamente aleatória de um meio elástico. Do ponto de vista fisiológico, o ruído pode ser definido como o conjunto de sons agradáveis e desagradáveis, com múltiplas origens e que podem provocar o incómodo ou afectar o estado de saúde das pessoas afectadas, não só psicologicamente mas também física e socialmente. Resumindo, pode-se considerar como ruído aquele sinal acústico que influencia o bem-estar físico e mental do indivíduo (citado por Russo, 1993).

As características principais do ruído são o seu nível sonoro e frequência (se se trata de um som puro) ou o espectro (se se trata de um som complexo).

Mas será que se pode dizer que o ruído é um conceito novo? Definitivamente não! Prova disso é que antes mesmo da revolução industrial, embora em pequeno número, já existiam pessoas expostas a ruído elevado nos seus postos de trabalho. O advento da máquina a vapor, conjuntamente com a revolução industrial, vieram despertar o interesse para o estudo do ruído como um factor de risco ocupacional. A partir da revolução industrial, os níveis de exposição ao ruído têm aumentado continuamente, a ponto de que a exposição a níveis elevados tem-se constituído num sério risco de desenvolvimento de danos auditivos.

Os efeitos da exposição a ruído são inúmeros. O ruído não só pode causar perda auditiva, como elevados níveis pressão sonora degradam as comunicações, a segurança e o desempenho no trabalho (Suter, 1986). Um efeito facilmente demonstrável é o da interferência com a comunicação oral. Esta acontece principalmente nas bandas de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz. Quando existe um som que possui níveis semelhantes aos da voz humana, e este é emitido nas frequências da voz, ocorre uma espécie de “mascaramento” que pode dificultar a comunicação oral, propiciando assim vários problemas, entre os quais, um possível aumento do número de acidentes de trabalho.

1.1 – Audição

A audição consiste numa sequência de eventos em que o ouvido converte as ondas sonoras em sinais eléctricos que são, posteriormente, transmitidos ao cérebro e interpretados como sons.

Uma das características principais da audição humana é o sentimento da direcção da propagação das ondas do som. Por causa da localização física das orelhas na cabeça humana, cada orelha recebe sinais diferentes e, dessa forma, ocorrem alterações na intensidade e no tempo de chegada do som entre cada orelha. O sistema nervoso central regista cada sinal recebido, estabelecendo a direcção da onda sonora (Jullien e Warusfel, 1994).

O ouvido é o órgão da audição e, anatómica e funcionalmente, divide-se em três partes (figura1.1):

- **Ouvido externo** constituído pelo pavilhão e o canal auditivo externo, e pela membrana do tímpano que o separa do ouvido médio.
- **Ouvido médio ou caixa do tímpano** constituído pelo tímpano, o martelo, a bigorna e o estribo.
- **Ouvido interno ou labirinto** é constituído pela cóclea ou caracol, e o vestíbulo

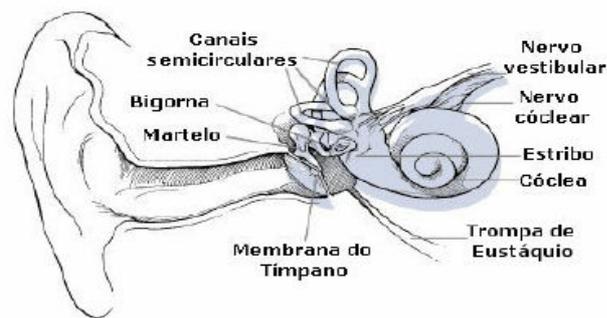


Figura 1.1 – Anatomia da Audição.

O ouvido externo e o ouvido médio fazem a recepção da onda sonora, transformando a energia acústica em energia mecânica. O ouvido interno transforma esta energia em impulsos eléctricos que são transmitidos ao cérebro. Quando expostas a sobrecargas de ruído as células do ouvido sofrem alterações, aparecendo a perda de audição.

A deterioração da audição é função da intensidade (quantidade de som recebida medida em deciBel – dB), frequência (variação da pressão sonora medida em Hertz - Hz) e tempo de exposição ao ruído, variando também de indivíduo para indivíduo.

A gama de audibilidade Humana situa-se entre os 20Hz e os 20 000Hz. No entanto, o ouvido humano não responde linearmente aos estímulos sonoros, mas sim logaritmicamente. Daí que, as

medidas dos parâmetros acústicos são feitas numa escala logarítmica expressa em decibéis (dB). O decibel é, por definição, o logaritmo da razão entre o valor medido e um valor de referência padronizado e corresponde praticamente à mais pequena variação da pressão sonora que um ouvido humano normal pode distinguir em condições normais de audição.

Em consequência da forma do ouvido externo e outro factores, a sensibilidade do ouvido Humano é, no entanto, maior na gama de frequências dos 1 000 a 5 000 Hz, pelo que, um trabalhador exposto a 90 dB nesta gama encontra-se em maior risco do que outro exposto aos mesmos 90 dB fora desta gama. Assim, num esforço de expressar o ruído a que um indivíduo está exposto de uma forma uniforme e significativa para o largo espectro de frequências, este é medido com um filtro de ponderação, filtro A, que traduz aproximadamente a resposta do ouvido humano. Tal consiste em aplicar um algoritmo ponderado à pressão sonora como é medida, de forma a que o ruído na gama das frequências de maior sensibilidade humana seja dado como um valor de decibel relativamente maior. Este valor é apresentado em “dB(A)”.

1.2 – Medição do ruído

A medição do ruído é efectuada por vários motivos entre as quais:

- Determinação da radiação sonora dos diversos equipamentos;
- Verificar se os níveis sonoros são susceptíveis de provocar danos auditivos ou a deterioração do ambiente;
- Obtenção de dados para efectuar planos de redução do ruído.

Todas estas medições obedecem a normas e critérios, os quais indicam a forma como estas se efectuam, bem como os aparelhos de medição que se utilizam. Na figura 1.2, visualizam-se exemplos de aparelhos usados na medição do ruído.



Figura 1.2 – Aparelhos usados na medição do ruído.

1.3 – Efeitos da exposição ao ruído

Existem, desde a antiguidade, numerosas referências a sintomas relacionados com a exposição ao ruído. Segundo Loeb (1986), a mais antiga remonta aos anos 75 DC, feita por Pliny e Elder, e refere-se aos habitantes que viviam junto às quedas de água do Nilo.

1.3.1 – Acção do ruído sobre o aparelho auditivo

O efeito mais óbvio da exposição do Homem ao ruído é a alteração da sensibilidade do seu aparelho auditivo, do qual a surdez é a mais notória.

A surdez é função da frequência e da intensidade do ruído, sendo mais evidente para os sons puros e para as frequências elevadas.

A fadiga auditiva traduz-se por um abaixamento reversível da acuidade auditiva e é determinada pelo grau de perda de audição e pelo tempo que o ouvido demora a retomar a audição inicial. Pode ser considerada uma medida indirecta de admissibilidade face ao ruído, implicando a fixação de um limite da perda de audição após a exposição.

1.3.2 – Acção do ruído sobre o organismo em geral

Os efeitos nocivos do ruído sobre o organismo podem ser divididos em fisiológicos e psicológicos. Relativamente aos efeitos fisiológicos, o ruído lesa não só o sistema auditivo propriamente dito, mas também as diferentes funções orgânicas, tais como:

- Distúrbios gastrointestinais;
- Aumento da pulsação;
- Aumento do ritmo cardíaco;
- Aumento da frequência respiratória;
- Diminuição da secção dos vasos periféricos e da resistência eléctrica da pele;
- Distúrbios do sistema nervoso central.

A influência da exposição ao ruído sobre o organismo humano é, essencialmente, baseada na evidência da relação entre a exposição e as alterações cardiovasculares e hormonais (Pimentel-Souza, 2000).

Ao nível cardiovascular, constata-se que, o ruído constitui um factor de risco de hipertensão (Talbot et al., 1996 e 1999; Melamed et al., 2001).

Os estudos efectuados ao nível das alterações hormonais ainda não são conclusivos. No entanto, alguns estudos mais recentes sugerem uma possível relação existente entre a exposição ao ruído e a reprodução (Butler et al., 1999), pese embora o estudo deste tipo de relação esteja ainda numa fase muito embrionária.

Em termos psíquicos, o ruído poderá ter efeitos diversos, como por exemplo:

- Fadiga e o aumento da irritabilidade, que podem estar associados à produção hormonal, nomeadamente à presença do cortisol na urina (Melamed et al., 1996a);

- Depressão, ansiedade e agitação;

- Perturbação do sono.

1.3.3 – Outros efeitos do ruído

Outros efeitos também associados ao ruído são as sensações desagradáveis de desconforto e mau humor. Os sujeitos expostos ao ruído durante períodos longos poderão tornar-se irritáveis, manifestar tendências agressivas e tornar-se menos solidários (Floru et al., 1994). Em certos tipos de actividade, o ruído pode impedir a comunicação e mascarar os sinais sonoros, constituindo deste modo, um factor de risco para a ocorrência de acidentes (Arezes, 2002). No entanto, esta relação ainda não foi comprovada estatisticamente, daí que o ruído deverá ser considerado como um factor potencial de risco de acidentes ou, pelo menos, um factor favorável à ocorrência de erro humano (Wilkins et al., 1982; Suter, 1994). Com efeito, o ruído:

- exerce um efeito de mascaramento sobre os sinais de alarme (Arezes, 2002);

- perturba a comunicação e pode mascarar as mensagens de aviso de perigo (Arezes, 2002);

- perturba a concentração e reduz a capacidade de manter a atenção (Arezes, 2002);

- influencia negativamente a produtividade e a qualidade do produto.

Capítulo 2 – ENQUADRAMENTO LEGAL

A exposição ao ruído ocupacional encontra-se regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro. O referido Decreto-Lei, entre outras coisas, define o seguinte:

2.1- «Exposição pessoal diária ao ruído», $L_{EX,8h}$, o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, calculado para um período normal de trabalho diário de oito horas (T_0), que abrange todos os ruídos presentes no local de trabalho, incluindo o ruído impulsivo, expresso em dB(A), dado pela expressão:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq, T_e} + 10 \lg \left(\frac{T_e}{T_0} \right)$$

em que,

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \frac{[p_A(t)]^2}{(p_0)^2} dt \right\}$$

sendo,

T_e – duração diária de exposição pessoal de um trabalhador ao ruído durante o trabalho;

T_0 – duração de referência de oito horas (28 800 segundos);

$p_A(t)$ – pressão instantânea ponderada A, expressa em pascal (Pa), a que está exposto um trabalhador;

p_0 – pressão de referência $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ pascal.

2.2- «Nível de pressão sonora de pico», L_{Cpico} , o valor máximo da pressão sonora instantânea, ponderado C, expresso em dB(C), obtido pela expressão:

$$L_{Cpico} = 10 \lg \left(\frac{P_{Cpico}}{p_0} \right)^2$$

em que p_{Cpico} é o valor máximo da pressão sonora instantânea a que o trabalhador está exposto, ponderado C, expresso em pascal.

2.3- «Nível sonoro contínuo equivalente», $L_{Aeq,T}$ ponderado A de um ruído num intervalo de tempo T, é o nível sonoro, expresso em dB(A), obtido pela expressão:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{[p_A(t)]^2}{(p_0)^2} dt \right\}$$

em que,

T é o tempo de exposição de um trabalhador ao ruído no trabalho $T = t_2 - t_1$;

$p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea ponderada A, expressa em pascal, a que está exposto, um trabalhador

2.4- Valores limite de exposição e valores de acção

Os valores para a exposição pessoal diária ou semanal de um trabalhador são os constantes na próxima tabela:

	$\overline{L}_{EX,8h}$	L_{Cpic}
Valor limite de exposição	87 dB(A)	140 dB(C)
Valor de acção superior	85 dB(A)	137 dB(C)
Valor de acção inferior	80 dB(A)	135 dB(C)

Tabela 2.1 – Valores limite de exposição e valores de acção previstos no DL 182/2006.

Capítulo 3 – MEDIDAS DE CONTROLO E PREVENÇÃO

A redução do nível de exposição ao ruído pode ser efectuada implementando as seguintes medidas, por ordem de prioridade:

- 1 - medidas construtivas ou de engenharia;
- 2 - medidas organizacionais;
- 3 - medidas de protecção individual.

O tipo de medida mais eficaz é a construtiva, pois esta actua na eliminação do ruído na fonte produtora ou actua nas vias de propagação. Alguns exemplos são o isolamento de máquinas ruidosas, instalação de silenciadores nos ventiladores, colocação de barreiras e painéis anti-ruído.

Embora as medidas organizacionais sejam consideradas a melhor solução para a exposição excessiva de ruído, estas são frequentemente, as alternativas mais caras e podem mesmo se revelarem como impraticáveis.

As medidas organizacionais reduzem a exposição dos trabalhadores ao ruído através da limitação do tempo de exposição ao ruído. Algumas dessas medidas são a planificação da produção com vista à eliminação de postos de trabalho sujeito a elevados níveis de ruído, a rotação periódica de pessoal exposto, a realização de trabalhos ruidosos em horas em que haja menor número de trabalhadores expostos, etc.

No entanto, as medidas descritas anteriormente não são muito populares, nem mesmo eficazes, uma vez que impede a produtividade e, mais importante ainda, não eliminam definitivamente o problema. Em vez de se ter um ou dois trabalhadores com uma elevada perda auditiva, irá ter-se vários trabalhadores com uma leve a moderada perda auditiva (Suter, 1986)

Quando os protectores auditivos forem usados somente nos casos em que as medidas construtivas ou organizacionais não sejam viáveis (técnica ou economicamente), estes poderão ser a solução para combater os efeitos negativos da exposição ao ruído na indústria. A razão desta situação deve-se ao carácter económico e à facilidade de implementação dos mesmos.

Os três tipos de protectores auditivos mais comuns, sobretudo em meio industrial, são: tampões auditivos, protectores auriculares passivos e protectores auriculares activos.

Capítulo 4 – PROTECÇÃO INDIVIDUAL AUDITIVA

Como anteriormente já foi referido, a protecção individual auditiva deve ser usada como medida de recurso, ou seja, somente nos casos em que as medidas construtivas ou organizacionais não sejam viáveis. No entanto, o recurso ao equipamento de protecção individual tem vindo a ser cada vez mais utilizado para minimizar os efeitos nefastos decorrentes da exposição ao ruído. O baixo custo e a facilidade de implementação desta medida fizeram que esta tenha vindo a ser a opção mais escolhida (Arezes, 2002). Consequentemente, os Protectores Individuais Auditivos têm evoluído ao longo dos tempos, existindo actualmente uma grande variedade no mercado.

Mas o que são Protectores Individuais Auditivos? Poder-se-á dizer que são todos os equipamentos que constituem um obstáculo à propagação da onda sonora desde a sua fonte até ao ouvido humano.

No entanto, dada a diversidade de formatos e de ambientes acústicos, a selecção dos protectores auditivos deverá ter em conta os seguintes aspectos:

- o tipo de ruído a que se está exposto, como por exemplo, exposições a ruído contínuo ou exposições repetidas de curta duração (Hamernik et al., 1995; White et al., 1998a);
- a existência de sons “úteis” ou informativos derivados do processo produtivo, como por exemplo, sinais sonoros de aviso (Liedtke, 1999);
- a localização das fontes de ruído (Fortin et al., 1996);
- as necessidades de comunicação verbal (Abel et al., 1982; Crabtree, 1998);
- o ambiente térmico existente (Arezes, 2002);
- a existência de poeiras ou contaminantes químicos (Arezes, 2002);
- a incompatibilidade individual do utilizador (Arezes, 2002).

No entanto, a atitude de muitos trabalhadores é que o uso de protecção auditiva altera a percepção auditiva (Wilkins e Martin, 1987). Estes acreditam que o uso de protecção individual auditiva poderá colocar o trabalhador numa situação insegura, dado que este estará menos hábil para comunicar ou ouvir e localizar sons de alarme importantes no seu local de trabalho. Vários estudos foram feitos a este nível e as conclusões não vieram de encontro a esta teoria, pelo menos para indivíduos com audição normal e quando o ruído de fundo excede os 85 dBA (Forshaw, 1977; Wilkins e Martin, 1977).

4.1- Classificação dos Protectores Individuais Auditivos

Damongeot e Pfeiffer propuseram a classificação de protectores auditivos (também adoptada pela norma NP EN 458: 1996) de acordo com dois critérios. O primeiro critério usado para classificar é de acordo com o modo de utilização dos protectores auditivos:

- Tampões auditivos (pré-moldados, moldados individualmente, moldáveis e ligados por um banda);
- Abafadores ou Protectores Auriculares (com banda ou montados em capacete de protecção).

O segundo critério baseou-se no modo de funcionamento:

- Protectores convencionais;
- Protectores com atenuação dependente do nível de pressão sonora;
- Protectores com atenuação uniforme;
- Protectores com redução activa do ruído (ANR);
- Protectores de comunicação;
- Protectores em combinação com outros equipamentos de protecção individual

De seguida, são desenvolvidas as principais classificações referidas anteriormente.

A) - TAMPÕES AUDITIVOS

São “*protectores auditivos que são introduzidos no canal auditivo ou na cavidade do pavilhão auricular para obturar a entrada, impedindo dessa forma que o ruído se propague até ao ouvido interno*» (Definição transcrita da série de normas NP EN 352) Este tipo de protectores pode ainda ser classificados do seguinte modo:

A1) Tampões auditivos pré-moldados e moldados individualmente

A principal característica dos tampões pré-moldados (figura 4.1) é o facto de estes já terem a forma final de utilização, não sendo por isso necessário moldá-lo antes da sua inserção no canal auditivo. Estes são disponibilizados em vários tamanhos, alguns apresentam falanges circulares

maleáveis de diâmetro crescente de modo a que possam ser usados por todos os utilizadores. Estes protectores são geralmente feitos em silicone ou nouro material suave e são reutilizáveis.



Figura 4.1 – Tampões pré-moldados.

Os tampões moldados individualmente são tampões cuja forma é moldada de acordo com a forma do canal auditivo do utilizador individual. São, geralmente, fabricados em materiais plásticos moldáveis, do tipo acrílico ou silicone, sendo obtidos a partir de um molde do canal auditivo do utilizador individual do protector (figura 4.2).



Figura 4.2 – Tampão moldado individualmente.

A2) Tampões moldáveis

São tampões moldados pelo utilizador, sendo geralmente feitos de um material compressível normalmente espuma de poliuretano, que depois de introduzidos no canal auditivo se expandem adoptando a forma do canal auditivo do utilizador (figura 4.3). Podem ser descartáveis ou reutilizáveis.



Figura 4.3 – Tampão moldável.

A3) Tampões ligados por banda

São tampões com a particularidade de estarem ligados por uma banda, flexível (figura 4.4) ou rígida (figura 4.5), minimizando o risco de perda ou esquecimento.



Figura 4.4 – Tampões com banda flexível.



Figura 4.5 – Tampões com banda rígida.

B) PROTECTORES AURICULARES

Os protectores auriculares são “*protectores auditivos que consistem em calotes posicionadas contra cada um dos pavilhões auriculares ou numa calote circum-aural posicionada contra a região periauricular. A pressão das calotes pode ser conseguida quer por uma banda à volta da cabeça ou por baixo do queixo, quer por ligação a um capacete.*» (Designação do D.R. 9/92)

Este tipo de protectores pode ainda ser classificados do seguinte modo:

B1) Protectores Auriculares Passivos

Estes protectores não dispõem de qualquer dispositivo electrónico que regule a atenuação em função da frequência ou do nível de pressão sonora, sendo a atenuação conferida de forma totalmente mecânica.

Os protectores passivos são os mais divulgados, pela sua simplicidade e baixo custo.

Os protectores auriculares são fornecidos com diferentes tipos de bandas que fazem a união entre as duas calotes (bandas de cabeça, bandas de queixo, bandas universais). Na figura 4.6 mostra-se um exemplo de um Protector Auricular Passivo com banda de cabeça.



Figura 4.6 – Protector Auricular Passivo com banda de cabeça.

B2) Protectores Auriculares Activos

São protectores que incorporam dispositivos electrónicos que permitem uma atenuação dependente do nível de pressão sonora.

Nos protectores *uniformes* a atenuação é, de certo modo constante na gama de frequências normalmente considerada em termos de atenuação acústica dos protectores. Este facto faz com que a sua aplicação seja recomendada em casos específicos para os quais a clareza e percepção do som recebido são importantes (Casali et al., 1996; Berg et al., 2000).

Estes dispositivos são os que presentemente apresentam maiores potencialidades, não estando mais difundidos por apresentarem custos elevados quando comparados com os passivos.

B3) Protectores de Redução Activa do Ruído (RAR)

Estes protectores baseiam o seu funcionamento na redução activa do ruído, originando uma atenuação superior à atenuação passiva (sobretudo em baixas frequências).

Estes protectores, embora tenham muitas potencialidades, têm a utilização limitada em ambientes agressivos tais como temperaturas elevadas, humidade e poeiras, para além de apresentarem um custo elevado (figura 4.7).



Figura 4.7 – Protector Auricular Activo.

B4) Protectores auriculares de comunicação

Estes protectores permitem a comunicação entre utilizadores de protectores auditivos, uma vez que foram incluídos microfones de recepção e emissão de som. Apresentam a vantagem de poderem ser transmitidas mensagens de aviso ou de emergência na realização das tarefas. Na próxima figura (4.8), ilustra-se um exemplo deste tipo de protectores.



Figura 4.8 – Protector Auricular de comunicação.

B5) Protectores auriculares com rádio receptor

Estes protectores integram um rádio receptor, de forma a ser possível a audição de estações de rádio (figura4.9). Estes protectores têm como objectivo principal a exclusão do perigo adicional de audição de música em níveis de pressão sonora elevados, uma vez que a pressão sonora no interior destes protectores é limitada a 82 dB(A) (HVBG, 1998).



Figura 4.9 – Protector Auricular com rádio receptor.

B6) Protectores auriculares em combinação com outros equipamentos de protecção individual

São protectores auditivos cuja utilização é conjunta com outro tipo de equipamento de protecção individual (figura 4.10).



Figura 4.10 – Protector Auricular com protector da face e capacete de protecção.

4.2 – Atenuação dos Protectores Individuais Auditivos

Os protectores auditivos tornaram-se bastante comuns no meio industrial onde o ruído representa um risco para a audição dos trabalhadores. Estes têm o potencial de reduzir os níveis sonoros aos quais os trabalhadores estão expostos, existindo vários factores que afectam as propriedades físicas de atenuação dos protectores. Estes factores incluem as dificuldades em obter o ajuste apropriado, em monitorizar e corrigir a deterioração e em controlar a alteração do uso dos protectores auditivos por parte do trabalhador, que poderá melhorar o conforto do mesmo em detrimento da protecção conferida por este (Berger, 1980).

A atenuação conferida pelos protectores auriculares é a característica normalmente escolhida para efectuar a sua selecção, sendo a escolha efectuada por aqueles que apresentem os índices mais elevados. Contudo, a escolha dos protectores baseada neste único critério acaba por originar uma protecção excessiva na maioria dos casos (Arezes, 2002). No entanto, aspectos como a necessidade de comunicação, percepção de sinais sonoros de aviso ficam desvalorizados. É importante encontrar um equilíbrio entre a atenuação que protege a audição, e que reduz a incomodidade e aquela que, desnecessariamente, bloqueia a percepção de sinais e estímulos sonoros e a percepção da comunicação verbal.

Deste modo, a selecção de um protector auditivo deverá ser sempre feita de uma forma cuidadosa para assegurar uma eficiente e adequada protecção.

4.2.1- Métodos de determinação da atenuação dos protectores

Existem três métodos normalizados para a determinação da atenuação que deve ser conferida por um protector individual auditivo (de acordo com a ISO 4869-2 de 1994):

- Método de Banda de Oitava,
- Método HML,
- Método SNR.

i. Método de Banda de Oitava

Neste método é feito o cálculo das atenuações médias Mf e dos desvios padrões associados sf . Estes são calculados em cada uma das bandas de frequência de oitava normalizadas a partir da atenuação medida nos diferentes indivíduos de ensaio.

- Índice APV_{fx} (*Assumed Protection Value*)

O cálculo deste índice é feito usando a equação (1) para cada uma das bandas de frequência.

$$APV_{fx} = M_f - a \times s_f \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo,

a - o factor em função da distribuição normal, que, de acordo com a norma ISO, pode tomar diversos valores, originando diferentes índices de protecção x

Calculado o APV_{fx} é então subtraído ao nível de pressão sonora por banda de oitava do ruído em questão e o espectro resultante é usado para calcular o nível de pressão sonora ponderado A utilizando o protector segundo a equação (2)

$$L'_{Ax} = 10 \times \lg \sum_{k=1}^8 10^{0,1(L_{f(k)} + A_{f(k)} - APV_{f(k)x})} \text{ dB} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo,

$f(k)$ o valor da frequência, ou seja, $f(1)=63$ Hz; $f(2)=125$ Hz; ... ; $f(8)=8000$ Hz.

$L_{f(k)}$ o valor do nível de pressão sonora na frequência central de oitava correspondentes.

$A_{f(k)}$ a ponderação conferida pelo filtro A na frequência $f(k)$.

Este método é tido como o mais fiável e preciso para a determinação da atenuação. No entanto, não apresenta a visualização imediata da atenuação, sendo a sua interpretação mais difícil.

Na actual legislação nacional já mencionada anteriormente, o valor de a na equação (1) toma o valor de 2, isto é, pressupõem-se uma correcção correspondente a 2 desvios-padrão, a que corresponderá um índice de protecção de cerca de 97,7% dos utilizadores.

ii. Método HML

Este método prevê a determinação de três índices H,M,L para ruídos com espectros dominantes, respectivamente nas altas, médias e baixas frequências. O seu cálculo é baseado em 8 espectros

de referência, com diferentes valores de $L_c - L_A$ e no valor estimado de protecção (APV_R) do protector auditivo.

Uma vez conhecidos os índices, a atenuação conferida pelo protector é determinada calculando primeiro o PNR respectivo subtraindo este valor ao nível de pressão sonora ponderado A, como mostra a equação (3).

$$L'_{Ax} = L_A - \text{PNR} \quad \text{Equação (3)}$$

O cálculo do PNR é efectuado consoante a diferença entre os níveis de pressão sonora ponderados A e C. Caso seja menor ou igual a 2 dB, usa-se a equação (4), caso contrário usa-se a equação (5).

- Ruídos com $(L_c - L_A) \leq 2 \text{ dB}$

$$\text{PNR} = M - \frac{H - M}{4} \quad (L_c - L_A - 2\text{dB}) \quad \text{Equação (4)}$$

- Ruídos com $(L_c - L_A) > 2 \text{ dB}$

$$\text{PNR} = M - \frac{H - L}{8} \quad (L_c - L_A - 2 \text{ dB}) \quad \text{Equação (5)}$$

iii. Método SNR (Single Number Rating)

Finalmente, o método SNR prevê o cálculo do nível de pressão sonora efectivo a partir de um ruído de referência tipificado. É o método mais fácil de aplicar, contudo será também, o menos preciso. Os protectores com SNRs mais altos são os que apresentam valores de atenuação mais altos e vice-versa.

A aplicação deste método requer um conhecimento do nível de pressão sonora ponderado C do ruído em questão. Depois de conhecido o índice SNR de determinado protector, o nível de pressão sonora efectivo é calculado usando a equação (6).

$$L'_{Ax} = L_C - \text{SNR} \quad \text{Equação (6)}$$

4.2.2 - Audibilidade de Sinais Sonoros e Inteligibilidade

A inteligibilidade, isto é, a capacidade de entender distintamente os sons em geral, e a fala em particular, é uma das principais causas apontadas para a não utilização da protecção individual auditiva por parte dos trabalhadores.

Na ausência de ruído ambiente o uso de protectores diminui significativamente a inteligibilidade, quer pela atenuação, quer pela distorção que confere aos sons. A diminuição da inteligibilidade é devida essencialmente a dois factores:

1. Distorção dos sons;
2. Diminuição da intensidade da fala. Em consequência do efeito de oclusão o utilizador tende a aperceber-se da sua voz mais alta do que realmente ela está e por isso fala mais baixo (Arezes, 2002).

O uso de protecção auditiva interfere na comunicação e na percepção de sinais sonoros. No entanto, esta não deverá pôr em risco a audição de sinais de perigo (Fortin et al., 1996).

Esta interferência ainda é mais importante quando se tratam de protectores cuja atenuação se centra nas altas frequências, uma vez que existem muitos sons de perigo com um espectro característico de alta frequência (Haas et al., 1995). Nestas situações, há que ter uma preocupação de seleccionar protectores de atenuação uniforme, para que se evite a atenuação excessiva podendo tornar imperceptível os sinais sonoros de perigo.

Em qualquer situação, terá que assegurar-se que os sinais sonoros de alarme sejam audíveis e perceptíveis.

Capítulo 5 – LOCALIZAÇÃO SONORA

A percepção auditiva é uma das vias importantes tal como a visão, para se aceder ao conhecimento do espaço.

A faculdade de localizar auditivamente um estímulo sonoro sempre foi uma necessidade essencial. Por exemplo, esta é imprescindível para advertir um animal em perigo. O mesmo acontece na Indústria: os utilizadores de protecção auditiva têm necessidade de localizarem e rapidamente identificarem a posição de determinados estímulos acústicos tais como sirenes de alarme, indicadores acústicos específicos, etc.

Todavia, há que ter em atenção a variabilidade individual na sensibilidade ao estímulo sonoro, ou seja a capacidade individual de ouvir os ruídos (independente dos níveis de exposição) e a incomodidade relacionada com os níveis de exposição (Ellermeir et al., 2001).

É útil distinguir dois aspectos da percepção auditiva do espaço: as informações relacionadas com a distância do estímulo sonoro e a sua localização espacial. Deste modo, os processos perceptivos em jogo não são da mesma natureza e conduzem a estratégias de manipulação bem diferentes.

O campo da audição, contrariamente ao da visão, não é limitado uma vez que se pode localizar auditivamente de frente, assim como de trás. Por outro lado, um som não é particularmente mascarado por um écran, ele contorna-o em grande parte através das leis de difracção acústica.

A localização auditiva em direcção e em distância está relacionada com um conjunto de processos de tratamento e análises efectuadas pelo cérebro sobre os sinais captados simultaneamente pelas duas orelhas e respectivos ouvidos. É de salientar que os sistemas de localização auditiva e visual apresentam um objectivo comum, o de se situar no espaço, e também algumas semelhanças no que diz respeito aos processos de análise. Contudo, os seus diferentes desempenhos conferem prioridades diferentes de acordo com a direcção da proveniência do estímulo. Graças a um poder de discriminação superior, a visão tem tendência a suplantam a informação auditiva no sector frontal. Em contrapartida, a audição tem exclusividade se o estímulo estiver fora do campo visual (Jullien e Warusfel, 1994).

Estas qualidades específicas da localização auditiva explicam sem dúvida o desempenho excepcional da percepção, uma vez que face ao aparecimento de um estímulo acústico esta indica quase instantaneamente a sua distância e localização.

5.1- Influência do uso de protectores auditivos

Os sinais dominantes da localização do som no plano horizontal são as diferenças entre o tempo de chegada e a intensidade do som entre as duas orelhas, pelo que será de esperar que nenhuma das quais deve ser perturbada pelo uso dos protectores auditivos. No entanto, Grantham e Vause (1999) demonstraram que o uso de protectores auditivos provoca um aumento no número de confusões em localizar correctamente a fonte nomeadamente, confusões entre frente – traseira e direita - esquerda. Estas confusões, decorrem do facto de nenhum dos sinais dominante, tempo de chegada ou diferenças de intensidade, especificar uma única localização no espaço.

Os protectores auditivos têm normalmente características de atenuação que variam em função da frequência, de tal modo que investigadores especularam que pudessem perturbar os padrões espectrais necessários à exacta localização frente traseira e, assim, provocar um aumento no número de confusões.

Alguns estudos tentam também analisar se quando são usados protectores auditivos, a localização de fontes sonoras fora do plano horizontal é perturbada, uma vez que a informação espectral é conhecida por ser o sinal dominante na localização em elevação, ou vertical. Apesar disso, poucos investigadores consideraram os efeitos de protecção auditiva sobre a localização de fontes no canto superior ou inferior.

O desempenho de localização de um sinal sonoro pode também ser afectado pela grande experiência no uso de protectores individuais auditivos (Bauer et al. ,1966).

Existem vários estudos que indicam que os protectores individuais auditivos, usados para proteger os trabalhadores dos perigos do ruído e da possibilidade de perda auditiva induzida por ruído, fazem com que surgem dificuldades significativas na localização dos sinais sonoros (Abel e Hay, 1996; Atherly e Noble, 1970; Noble e Russel, 1972). Contudo, ainda não é claro se o principal factor subjacente à diminuição da percepção com o uso dos protectores é simplesmente a atenuação global fornecido pelos protectores, ou se a alteração da forma do espectro produzido pelos protectores também contribui para o seu pior desempenho. Várias investigações indicam que, o aumento da atenuação do protector, prejudica o desempenho da localização (Noble e Russel, 1972). No entanto, dado que estes estudos não medem a frequência específica de atenuação dos diversos protectores auditivos, não é possível saber como a ruptura de forma espectral pode ter também contribuído para a diminuição da percepção na localização do sinal sonoro.

A utilização de protecção individual auditiva altera as características do ruído e do sinal no ouvido do utilizador. Assim sendo, uma série de efeitos podem ser previstos nesta base (Coleman,1984).

O primeiro destes ocorre quando os protectores auditivos reduzem o sinal global e o nível do ruído. A audibilidade de um sinal é melhorada devido a um efeito conhecido como o crescimento não linear de mascaramento, porque a relação necessária entre o sinal e o ruído para atingir o limiar de audibilidade é reduzida. No entanto, este efeito só ocorre nos níveis de ruído superiores a 80 dB SPL (Weber, 1977; Sharf e Meiselman,1977).

Existem estudos, tais como os de Kryter (1946), Howell e Martin (1975), e Endruweit e Hatch (1977) que também sugerem que este efeito pode ocorrer na fala entre ouvintes com boa capacidade auditiva. Assim sendo, os protectores individuais auditivos podem melhorar a audibilidade de qualquer sinal presente nestas condições onde o ruído ambiente é superior a 80 dB SPL.

Outro efeito que acontece é quando o ouvinte tem uma elevada perda auditiva num sinal de frequência específica, de modo a que a atenuação de um protector auditivo poderia reduzir o nível do sinal junto ao ouvido de tal forma que o sinal poderia se tornar inaudível. A probabilidade e o tamanho do efeito seriam uma função da capacidade auditiva do ouvinte e do grau de atenuação fornecido pelo protector auditivo. Portanto, o protector auditivo poderia agravar a audibilidade dos sinais para ouvintes com uma certa perda auditiva.

5.1.1- Mascaramento

O mascaramento é a capacidade de sobreposição a outros estímulos auditivos e, constitui um grave problema que afecta a audibilidade de sinais de aviso em meios industriais.

Em níveis elevados de pressão sonora, o ouvido distorce o sinal auditivo transmitido ao cérebro, tornando-se difícil para o ouvinte distinguir entre o sinal auditivo que se pretende ouvir e o ruído de fundo. Os protectores auditivos reduzem este problema, reduzindo o nível global de ruído (sinal e ruído de fundo que atinge o ouvido), tornando mais fácil para o cérebro fazer a distinção entre sinal e ruído (Suter,1989).

Wilkins e Martin (1977) realizaram uma experiência onde estudaram o efeito dos protectores auditivos no mascaramento dos limiares dos sinais auditivos de alarme. Os resultados indicaram que para os sinais de aviso (sirene e campainha) num ruído de fundo de 95 dBC, o limiar de mascaramento foi de mais 3,34 dB sem protecção do que com a sua utilização. Esta situação foi

devida à distorção cóclear. Num ruído com 75 dBC, os resultados demonstraram que não existe diferença no limiar do mascaramento. Tal não constituía um problema, uma vez que os protectores auditivos não são recomendados para ambientes com ruído de baixa intensidade.

Wilkins e Martin (1982) conduziram um estudo adicional para examinar os efeitos do uso da protecção auditiva na detecção de sinais de alarme no ruído. Neste segundo estudo, os resultados demonstraram que sem protecção existe um significativo aumento do limiar de mascaramento para a sirene e para «altos-baixos» sons de alarme. A razão para que os componentes individuais «alto» e «baixo» não produzissem diferenças foi devido ao sinal não contrastar o suficiente com o ruído de fundo.

Num estudo conduzido por Coleman et al. (1984) mediu-se o limiar de mascaramento de tons puros com protecção auditiva na presença do ruído (geralmente de baixas frequências) de aproximadamente 92 dB(A). Para frequências entre 500 – 1000 Hz, existiu um aumento no limiar quando colocados os protectores do tipo abafador (1,4 dB e 2,4 dB para protectores do tipo abafador e abafadores montados em capacetes, respectivamente), requerendo que o sinal de aviso seja emitido quando o ouvinte coloca tais dispositivos. Contudo, os tampões auditivos não mostraram esse efeito.

Para frequências acima dos 1000 Hz, os protectores auditivos não tiveram um efeito estatisticamente significativo na média do limiar de mascaramento. É importante salientar que os investigadores não encontraram diferenças entre o uso dos tampões auditivos e a condição de sem protecção em todo o intervalo de frequências testado. Tal ocorreu devido às excelentes características de atenuação dos tampões a baixas frequências (o ruído era tendencialmente de baixa frequência). Em contraste, a atenuação a baixas frequências dos protectores do tipo abafador resulta num significativo aumento do limiar de mascaramento.

Abel et al. (1983), assim como Alberti (1985), examinaram os efeitos dos protectores auditivos na detecção dos sinais auditivos, quer em ambientes ruidosos, quer em ambientes silenciosos. Em ambas as situações, os participantes com audição normal mostraram melhor detecção com o uso de tampões auditivos, o que significa que eles podiam ouvir o sinal a baixos níveis de pressão sonora quando comparado com a sua não utilização. Contudo, no silêncio, o limiar de mascaramento aumentou consideravelmente com o uso dos tampões. Para os participantes com perda auditiva, o limiar de mascaramento aumentou consideravelmente com o uso dos protectores auditivos em todas as condições de ruído.

Casali e Wright (1995) estudaram a evolução da sensibilidade da amplitude dos protectores do tipo abafador electrónicos (passivos e activos) e dos protectores do tipo abafador passivos convencionais, para determinarem se existe alguma melhoria na detecção do sinal. Os resultados obtidos demonstram que não existem diferenças significativas no limiar de mascaramento.

Vários estudos foram feitos sobre a detectibilidade dos sinais auditivos de aviso presentes no ruído, utilizando protecção auditiva de redução activa (ANR). Contudo, Abel e Spencer (1997) conduziram um estudo onde examinaram o efeito da detecção auditiva dos ANR numa variedade de tarefas. Para os limiares medidos no ruído, os rácios do sinal no ruído necessários para detectar o sinal no ruído de fundo, sem protecção, não mudaram relativamente aos resultados com o uso de protectores auditivos. Com os protectores ANR, não existiu um melhoramento no seu desempenho quando comparados com outros protectores convencionais. Uma razão possível para este resultado é o facto do nível de ruído ter sido muito baixo. Outra razão possível, é o facto de os protectores ANR funcionarem melhor em baixas frequências.

5.1.2 - Outros factores que afectam a detectibilidade do sinal sonoro

Além do efeito de mascaramento e das características de atenuação dos protectores auditivos, vários outros factores afectam a percepção humana para ouvir sinais auditivos no ruído. Estes factores incluem: conforto, atenção (ou a sua falta), características dos sinais de aviso e a perda auditiva.

O conforto é um dos factores mais importantes na determinação da quantidade de protecção fornecida por um protector auditivo (Casali et al., 1987; Park e Casali, 1991).

A atenção também é um factor a considerar. Um som pode ser audível, mas nem sempre poderá ser detectado. Em particular, a atenção deve ser considerada quando se verificar detecção de um sinal (por exemplo, se o ouvinte está ou não ocupado com uma tarefa que não esteja relacionada com a sua função auditiva). A literatura existente é pouco clara relativamente à influência da atenção, nomeadamente a relação existente entre a necessidade de atenção e os limiares de mascaramento.

Um estudo conduzido por Fidell (1978) referiu a condução como sendo um dos factores mais importante para a detecção auditiva. Os resultados indicaram um maior limiar de mascaramento (aproximadamente 10 dB) quando os sujeitos estão ocupados com a condução. Com isto, Fidell concluiu que a falta de atenção tem um efeito significativo na detecção de sinais auditivos. Estes

resultados diferem dos obtidos por Wilkin e Martin (1982). A diferença mais provável não se deverá a um real incremento no limiar de mascaramento dos sujeitos, mas muito provavelmente, devido a mudanças nos critérios ou mudança das regras.

As características dos sinais de aviso são também importantes na detectibilidade do sinal sonoro. Wilkins e Martin (1985 e 1987) efectuaram vários ensaios para examinar o contraste dos sinais de aviso com o ruído de fundo e com outro sinal de aviso funcionando no limiar do mascaramento. Os resultados demonstraram que ambas as variáveis, contraste com o ruído e contraste com outro sinal foram factores importantes para a detecção de sinais sonoros de aviso no ruído.

Por último, um importante factor a considerar é o nível de perda auditiva. A perda auditiva também é uma variável importante a controlar quando se testa o desempenho dos dispositivos da detecção dos sinais auditivos de aviso. Os resultados de vários estudos (Abel e Spencer, 1977; Abel et al., 1973; Abel et al., 1985; Coleman et al., 1984; Forshaw, 1977; Wilkins, 1984) demonstraram que sujeitos com moderada perda auditiva estão menos aptos a ouvir sinais sonoros de aviso, com ou sem protectores auditivos, quando comparados com sujeitos com audição normal.

Parte 2 – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Capítulo 6 – OBJECTIVOS

De acordo com um protocolo de ensaio laboratorial devidamente estruturado, pretende-se analisar a percepção da distância e localização espacial de estímulos acústicos de um conjunto de sujeitos, utilizando várias condições de protecção auditiva.

Este objectivo geral será concretizando através de objectivos mais específicos que se pretendem conseguir atingir, nomeadamente:

- Desenvolver e aplicar um protocolo de ensaio de protectores auditivos que permita analisar o seu desempenho em termos de identificação da distância e orientação espacial de estímulos acústicos.
- Analisar a influência da protecção auditiva na percepção de estímulos acústicos em ambiente reverberante.
- Analisar a influência do tipo de protectores auditivos na percepção de sinais acústicos, nomeadamente nas diferenças entre protectores passivos e protectores não passivos (ou activos).

Capítulo 7 – METODOLOGIA

7.1- Participantes, equipamento e local de ensaio

A selecção dos indivíduos a testar no protocolo de ensaio desenvolvido foi efectuada tendo em consideração a necessidade de os mesmos não terem experiência anterior de trabalho em ambientes industriais, assim como no uso de protectores individuais auditivos. Desta forma, a amostra seleccionada é constituída por uma população jovem e dentro da mesma faixa etária, tal como se pode verificar pela média e desvio – padrão da amostra, que foi de 25 e 5 anos, respectivamente.

A distribuição da amostra por sexos está ilustrada na figura 7.1.

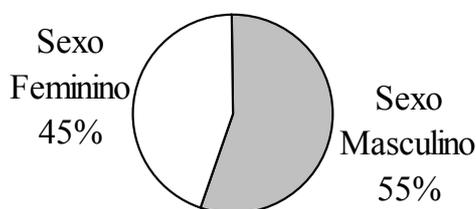


Figura 7.1 – Caracterização da amostra por sexo

Outro ponto também considerado importante para a selecção da amostra foi garantir que os indivíduos participantes não deveriam apresentar qualquer problema auditivo que lhes tivesse sido diagnosticado anteriormente.

Tendo em consideração a normalização aplicável ao ensaio e catalogação dos protectores individuais auditivos (ISO 4869-1), o número de participantes nos ensaios deverá ser de 16.

No estudo em questão, e tendo em vista uma maior representatividade dos dados, optou-se por aumentar o tamanho da amostra para 20 indivíduos de teste.

Para simular em laboratório as situações reais existentes no meio industrial, foi utilizado como estímulo acústico uma fonte muito frequente na indústria, a sirene identificadora de marcha-atrás existente nos empilhadores (figura 7.2) e outros veículos motorizados.



Figura 7.2 – Empilhador com sirene identificadora de marcha-atrás.

O espaço físico onde se realizaram os ensaios é constituído por uma sala ampla e vazia com as dimensões de 6 × 8 metros, tendo os ensaios sido realizados sem qualquer fonte de ruído de fundo.

Em meio industrial, foram efectuadas as medições dos níveis de pressão sonora da sirene nas distâncias definidas para a realização dos ensaios (tabela 7.1 e figura 7.3). Para tal, foi utilizado um sonómetro integrador de precisão da marca Bruel & Kjaer, e modelo 2236. Este sonómetro apresenta as características que satisfazem ao especificado para a classe 2 da norma CEI 804, conforme verificação periódica feita por entidade acreditada.

		Frequência (Hz)									LA,eq dB(A)	LMaxPico dB(C)
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Distância do empilhador	10 cm	LA,eq f	60,6	59,6	66,3	69,1	74,4	69,2	60,7	51,9	77,1	100,6
		L,eq f	86,6	75,6	75,3	72,1	74,4	68,2	59,7	52,9		
	2 m	LA,eq f	53,2	56,5	61,8	63,0	68,9	64,1	57,7	50,7	71,8	95,0
		L,eq f	79,2	72,5	70,8	66,0	68,9	63,1	56,7	51,7		
	4 m	LA,eq f	52,1	53,7	60,1	62,8	65,6	62,5	55,0	48,3	69,6	92,1
		L,eq f	78,1	69,7	69,1	65,8	65,6	61,5	54,0	49,3		
	6 m	LA,eq f	46,0	54,6	59,5	58,7	62,4	60,6	54,7	45,6	67,1	89,4
		L,eq f	72,0	70,6	68,5	61,7	62,4	59,6	53,7	46,6		

Tabela 7.1 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nas distâncias usadas nos ensaios.

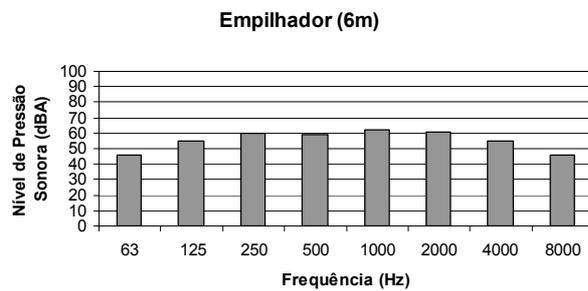
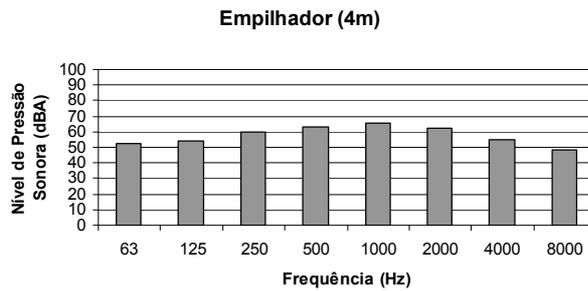
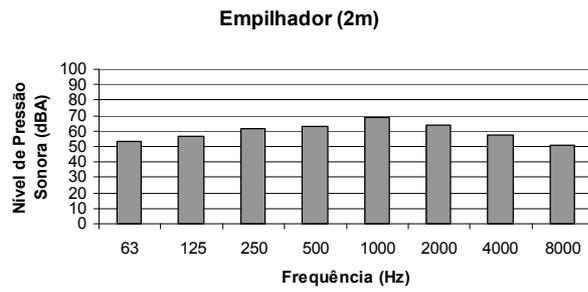
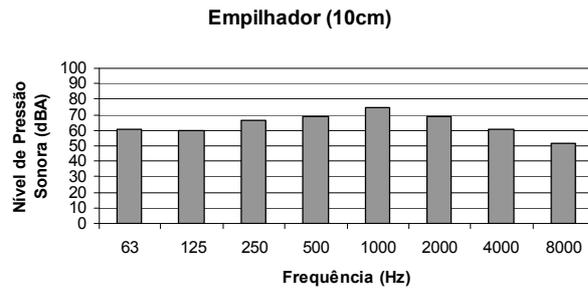


Figura 7.3 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene para as distâncias usadas nos ensaios.

Simultaneamente, foi feita a gravação do som da sirene e seleccionados 10 segundos do mesmo, para utilização no sinal de ensaio. Nas próximas figuras, podemos ver a representação deste sinal (ao longo do tempo).



Figura 7.4 – Representação do sinal sonoro em função do tempo: 10 segundos.



Figura 7.5 – Representação de um impulso isolado em função do tempo (aproximadamente 1 segundo).

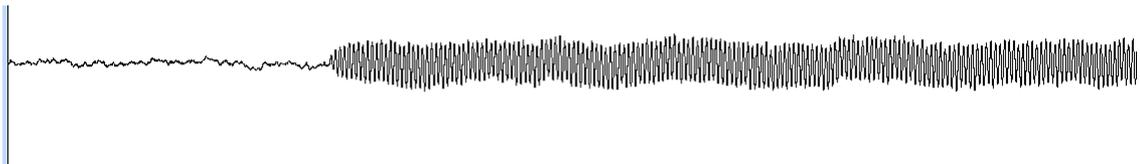


Figura 7.6 – Representação do Zoom do sinal em função do tempo (aproximadamente 0,2 segundos).

Para emitir o sinal de alarme indicador de marcha-atrás de um empilhador industrial (sirene), utilizou-se uma coluna ligada a um computador portátil de modo a obter os níveis «reais» em laboratório (aproximadamente 77 dB), e construiu-se um dispositivo que permitisse mover, de forma rápida e silenciosa, o equipamento de teste. Para tal utilizou-se um dispositivo de transporte de cargas, no qual foi montado uma estrutura de suporte da coluna (a cerca de 1,5m do solo), o computador e as ligações eléctricas associadas. Este dispositivo está ilustrado na figura 7.7.



Figura 7.7 – Dispositivo móvel usado nos ensaios.

Na sala de ensaio e em todas as posições definidas para a realização dos mesmos, foram efectuadas as medições dos níveis de pressão sonora da sirene. A figura 7.8 mostra a sala de ensaio e o respectivo esquema de ensaio utilizado.

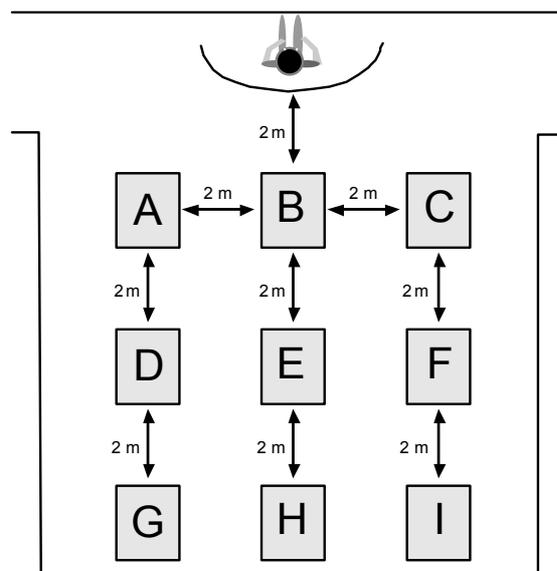


Figura 7.8 – Esquema de posicionamento das posições e distâncias dos pontos dos testes

As próximas tabelas indicam os valores dos níveis de pressão sonora da sirene medidos em cada um dos pontos de ensaio.

		Frequência (Hz)								LA,eq dB(A)
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
A	LA,eq f	2,1	20,8	30,8	40,5	66,7	55,1	38,1	27,9	67,0
	L,eq f	28,1	36,8	39,8	43,5	66,7	54,1	37,1	28,9	
B	LA,eq f	1,1	20,6	32,6	41,6	67,9	54,3	37,7	30,9	68,1
	L,eq f	27,1	36,6	41,6	44,6	67,9	53,3	36,7	31,9	
C	LA,eq f	1,7	20,7	30,8	43,9	66,4	56,9	40,7	30,4	66,9
	L,eq f	27,7	36,7	39,8	46,9	66,4	55,9	39,7	31,4	

Tabela 7.2 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos A, B e C.

		Frequência (Hz)								LA,eq dB(A)
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
D	LA,eq f	2,2	23,1	34,0	44,4	63,8	51,3	34,2	26,8	64,1
	L,eq f	28,2	39,1	43,0	47,4	63,8	50,3	33,2	27,8	
E	LA,eq f	2,0	22,1	32,2	40,5	65,2	53,8	37,8	29,0	65,5
	L,eq f	28,0	38,1	41,2	43,5	65,2	52,8	36,8	30,0	
F	LA,eq f	1,4	20,6	30,4	39,9	64,0	54,0	35,9	25,7	64,4
	L,eq f	27,4	36,6	39,4	42,9	64,0	53,0	34,9	26,7	

Tabela 7.3 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos D, E e F.

		Frequência (Hz)								LA,eq dB(A)
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
G	LA,eq f	1,6	20,0	30,0	39,4	62,7	53,2	33,4	28,5	63,2
	L,eq f	27,6	36,0	39,0	42,4	62,7	52,2	32,4	29,5	
H	LA,eq f	1,9	21,8	33,1	41,0	63,8	57,8	34,7	28,0	64,8
	L,eq f	27,9	37,8	42,1	44,0	63,8	56,8	33,7	29,0	
I	LA,eq f	2,0	20,0	30,1	39,0	62,5	55,8	34,1	27,5	63,4
	L,eq f	28,0	36,0	39,1	42,0	62,5	54,8	33,1	28,5	

Tabela 7.4 – Níveis de pressão sonora da sirene medidos nos pontos G, H e I.

Para cada ponto foi construído o respectivo espectro, tal como se pode visualizar nas próximas figuras:

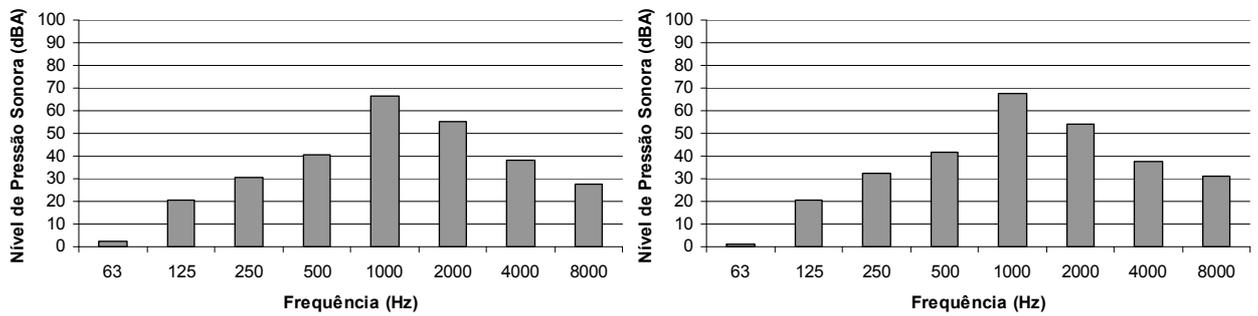


Figura 7.9 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto A e B, respectivamente.

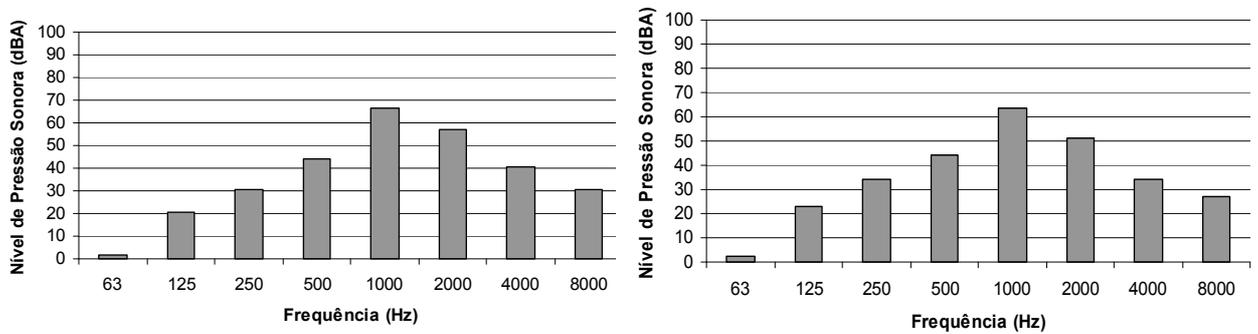


Figura 7.10 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto C e D, respectivamente.

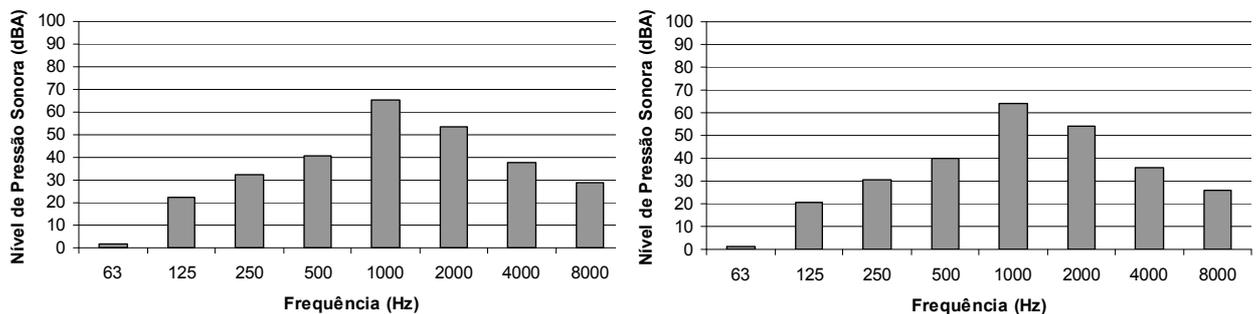


Figura 7.11 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto E e F, respectivamente.

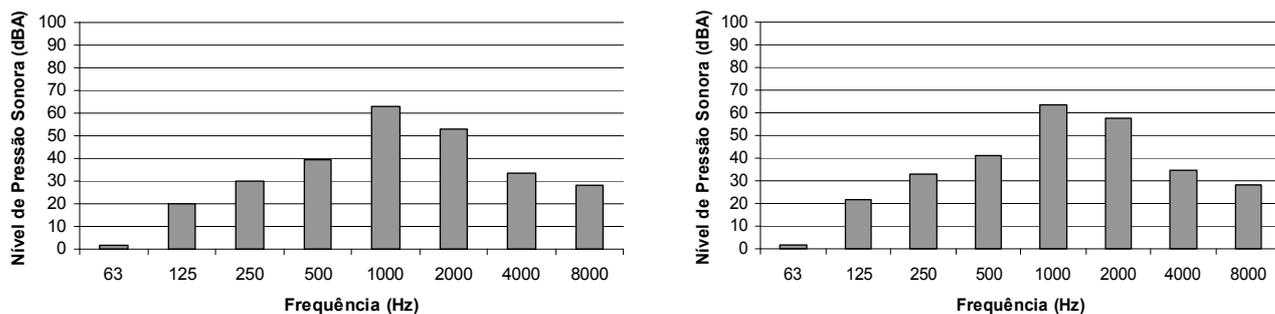


Figura 7.12 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto G e H, respectivamente.

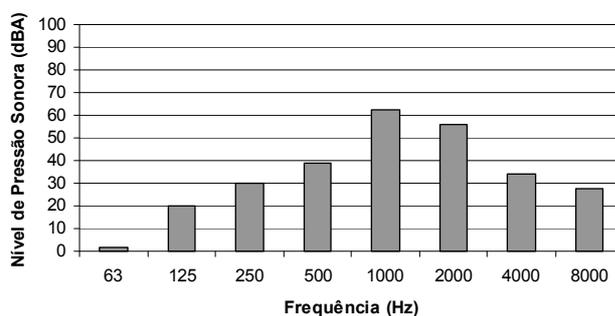


Figura 7.13 – Espectros dos níveis de pressão sonora da sirene medidos no ponto I.

7.2 - Protectores auditivos testados

Relativamente ao tipo de protectores auditivos ensaiados e devido à enorme variedade de protectores disponíveis no mercado, optou-se por ensaiar um de cada tipo e dando preferência aos modelos mais frequentemente utilizados na indústria. Deste modo, para os tampões seleccionou-se o modelo «EAR Ultrafit» (figura 7.14). De entre os protectores auriculares, ou abafadores, optou-se por seleccionar um modelo de protector passivo, o modelo «Bilsom 747» (figura 7.15), e um modelo de protector activo, o protector «Ceotronics» (figura 7.16).

As figuras seguintes ilustram os protectores individuais auditivos utilizados, sendo igualmente apresentadas as características de atenuação de cada um dos modelos ensaiados (tabelas 7.5, 7.6 e 7.7).



Figura 7.14 – Tampão *EAR Ultrafit*.

	Frequência (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
M_f	26,3	27,7	26,4	28,2	26,3	31,2	36,2	40,2
S_f	6,4	7,9	8,2	7,6	5,6	5,5	7,5	5,9
	H=26	M=22	L=20					
	SNR=25							

Tabela 7.5 – Características de atenuação do Tampão *EAR Ultrafit*.

Em que,

M_f – valor médio da atenuação;

s_f – desvio padrão da atenuação;

H – valor de atenuação a altas frequências;

M – valor de atenuação a frequências médias;

L – valor de atenuação a baixas frequências;

SNR – valor global de atenuação do protector auditivo.



Figura 7.15 – Protector Passivo *Bilsom 747*.

	Frequência (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
M_f	17,3	25	31,9	36,8	31,4	28,2	34,3	34,9
S_f	2,1	2,6	2,3	3,0	1,9	2,4	2,9	3,8
	H=28	M=29	L=28					
	SNR=30							

Tabela 7.6 – Características de atenuação do Protector Passivo *Bilsom 747*.



Figura 7.16 – Protector Activo *Ceotronics*.

	Frequência (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
M_i	-	7,2	14,7	25,0	26,7	27,8	38,3	35,0
S_i	-	2,2	4,4	6,1	4,1	4,1	5,4	7,5
H = 26		M = 19		L = 12				
SNR = 22								

Tabela 7.7 – Características de atenuação do Protector Activo *Ceotronics*.

Para melhor compreensão das implicações da utilização dos diferentes tipos de protecção auditiva, em termos de exposição, foi calculada a atenuação para cada protector auditivo e em cada um dos pontos de ensaio. (ver figura 7.8 - Esquema de posicionamento das posições e distâncias dos pontos dos testes). Deste modo, poder-se-á verificar se existem diferenças significativas entre os valores dos 9 pontos da grelha.

O cálculo da atenuação dos protectores foi feito usando o Método de banda de oitava e os resultados finais obtidos estão apresentados nas próximas duas tabelas (tabela 7.8 e 7.9). Os resultados dos cálculos efectuados para a obtenção destes valores finais são apresentados em anexo (anexo 2).

A		B		C	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão
67,0	51,7	68,1	52,9	66,9	51,5
D		E		F	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão
64,1	48,9	65,5	50,2	64,4	49,1
G		H		I	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Tampão
63,2	47,8	64,8	49,1	63,4	47,7

Tabela 7.8 – Atenuação do Tampão em cada um dos pontos de ensaio.

A		B		C	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo
67,0	39,8	68,1	40,8	66,9	39,9
D		E		F	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo
64,1	36,8	65,5	38,4	64,4	37,4
G		H		I	
LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo	LA,eq dB(A)	LA',eq dB(A) Prot Passivo
63,2	36,2	64,8	38,4	63,4	36,9

Tabela 7.9 – Atenuação do Protector Passivo em cada um dos pontos de ensaio.

Como se pode verificar pelos valores descritos nas tabelas anteriores existem diferenças de atenuação significativas entre o uso do Tampão e o uso do Protector Passivo. A maior diferença encontrada foi no ponto B, cujo valor é 12,1 dB(A) (ou seja, 52,9 – 40,8) e a menor diferença encontrou-se no ponto H, com 10,7 dB(A) (ou seja, 49,1 – 38,4). Como se pode constatar, a posição dos pontos de ensaio não influencia a diferença de atenuação entre o Tampão Auditivo e o Protector Passivo.

Conclui-se assim que os resultados obtidos, ou seja as diferenças de acertos com o uso de Tampão e com o uso do Protector Passivo, deve-se à atenuação excessiva que o Protector Passivo fornece.

Esta análise só foi feita para o Tampão e para o Protector Passivo uma vez que para o Protector Activo não é possível estimar com precisão a atenuação em modo “on” (ligado), tal como este foi testado

7.3 - Protocolo de ensaio

Os participantes que irão participar nestes ensaios foram sensibilizados para a pertinência deste estudo, tendo-lhes sido informado quais os objectivos do mesmo.

A cada participante foi entregue e explicado o procedimento de ensaio e o respectivo impresso para preencher (tabela 7.10 e Anexo 1 - Impresso usado pelo participante nº1).

1-	Ler cuidadosamente todo o procedimento e em caso de dúvida esclarecer a mesma;
2-	Sentar-se de costas voltadas para a fonte de emissão do sinal sonoro e colocar o Protector Passivo;
3-	Preencher os dados gerais do impresso;
4-	Após informação, utilizar a condição de protecção indicada no impresso de ensaio;
5-	Identificar a zona proveniente do estímulo acústico e registar no impresso, colocando o número 1 no respectivo quadrado;
6-	Identificar a zona proveniente do segundo estímulo acústico e registar no impresso, colocando o número 2 no respectivo quadrado;
7-	Identificar a zona proveniente do terceiro estímulo acústico e registar no impresso, colocando o número 3 no respectivo quadrado;
8-	Após informação, utilizar a condição de protecção seguinte indicada no impresso de ensaio e, efectuar o mesmo procedimento anteriormente descrito;
9-	Repetir o procedimento para as restantes duas condições de protecção indicadas no impresso.
Nota: - No caso de não ser possível identificar a localização do sinal, assinalar com uma cruz no quadrado correspondente;	
- Quando testar o Protector Activo não é preciso trocar de protector entre os vários estímulos, bastará desligá-lo.	

Obrigada pela sua colaboração!

Tabela 7.10 – Procedimento de ensaio.

O participante irá ser colocado no fundo da sala virado para a parede de modo a não visualizar a localização da fonte de emissão sonora, tal como o demonstrado na próxima figura:



Figura 7.17 – Visualização da sala de teste.

Os participantes terão uma ordem do tipo de protecção auditiva a usar mas todos farão igualmente um ensaio sem qualquer tipo de protecção auditiva (em branco).

Para registo, o participante terá um impresso com o «croquis» da sala (Anexo 1 – Impresso usado pelo participante nº1) e com a ordem do tipo de protector a usar, onde poderá identificar a zona proveniente do estímulo acústico.

Para cada tipo de protectores auriculares, foram testadas 3 das 9 zonas pré-definidas na sala. A selecção das 3 posições a testar foi efectuada através da geração de uma ordem aleatória.

A fonte do estímulo acústico foi colocada numa determinada posição, a partir daí foi emitido um sinal com uma duração de 10 segundos e o participante tinha que identificar, utilizando o impresso, a localização correspondente ao estímulo ouvido.

Após o estímulo acústico ter finalizado, o participante registava a opção no impresso mencionado.

Embora o participante estivesse de costas voltadas para a fonte poderia ter a tendência de movimentar a cabeça e aperceber-se dos movimentos da fonte, assim como ter percepção auditiva do local onde a fonte estaria a ser colocada. Para que tal não acontecesse, pediu-se aos participantes para colocar o protector passivo enquanto a fonte era colocada noutra zona. De seguida, quando a fonte estava já reposicionada o participante era informado para efectuar a troca do protector, e quando este desse sinal de estar preparado para iniciar o teste era emitido o sinal sonoro.

Quando finalizavam os 3 estímulos, repetia-se o ensaio com outra condição de protecção, que poderia ser a utilização de outro tipo de protector ou a não utilização de protecção.

Os sinais foram emitidos aleatoriamente para que o participante não fosse influenciado nas respostas a dar. Contudo, na definição do esquema de ensaio, gerado aleatoriamente, houve a preocupação de incluir uma restrição, para cada teste efectuado teria de se incluir as 3 possibilidades de localização «horizontal» (esquerda - centro – direita) e as 3 possibilidades de localização «vertical» (2m – 4m – 6m). O participante não tinha informação sobre esta definição.

Os parâmetros a analisar nas respostas correctas de cada participante, eram o “sentido” e/ ou a “distância” relativamente à posição alvo, tendo em conta o tipo de protector utilizado ou a sua não utilização. Para melhor avaliar as respostas, foi desenvolvida uma metodologia que irá ser exposta no Capítulo 8 – Resultados e Discussão.

Na próxima tabela, encontram-se as posições a testar para cada participante:

Sujeito		POSIÇÕES		
		1º sinal	2º sinal	3º sinal
1	1º ensaio: sem protectores	A	E	G
	2º ensaio: tampão	I	G	B
	3º ensaio: protector passivo	G	C	E
	4º ensaio: protector activo	B	G	I
2	1º ensaio: tampão	A	E	G
	2º ensaio: protector passivo	E	C	I
	3º ensaio: protector activo	G	D	C
	4º ensaio: sem protectores	H	A	F
3	1º ensaio: protector passivo	F	D	H
	2º ensaio: protector activo	I	E	A
	3º ensaio: sem protectores	I	B	D
	4º ensaio: tampão	B	F	D
4	1º ensaio: protector activo	A	C	I
	2º ensaio: sem protectores	B	I	G
	3º ensaio: tampão	F	C	G
	4º ensaio: protector passivo	H	F	C
5	1º ensaio: sem protectores	H	C	D
	2º ensaio: tampão	D	H	I
	3º ensaio: protector passivo	C	I	D
	4º ensaio: protector activo	A	E	H
6	1º ensaio: tampão	G	E	C
	2º ensaio: protector passivo	A	H	C
	3º ensaio: protector activo	G	B	D
	4º ensaio: sem protectores	C	D	H
7	1º ensaio: protector passivo	I	E	A
	2º ensaio: protector activo	E	C	I
	3º ensaio: sem protectores	D	C	H
	4º ensaio: tampão	G	A	E
8	1º ensaio: protector activo	D	B	H
	2º ensaio: sem protectores	G	E	C
	3º ensaio: tampão	D	F	H
	4º ensaio: protector passivo	G	C	E
9	1º ensaio: sem protectores	I	E	A
	2º ensaio: tampão	A	H	G
	3º ensaio: protector passivo	G	B	E
	4º ensaio: protector activo	E	B	I
10	1º ensaio: tampão	D	A	I
	2º ensaio: protector passivo	H	A	I
	3º ensaio: protector activo	C	G	D
	4º ensaio: sem protectores	H	F	A
11	1º ensaio: protector passivo	E	B	I
	2º ensaio: protector activo	G	B	C
	3º ensaio: sem protectores	H	D	C
	4º ensaio: tampão	A	I	D
12	1º ensaio: protector activo	C	I	G
	2º ensaio: sem protectores	B	D	I
	3º ensaio: tampão	A	G	F
	4º ensaio: protector passivo	H	F	B
13	1º ensaio: sem protectores	B	F	G
	2º ensaio: tampão	C	D	H
	3º ensaio: protector passivo	E	I	B
	4º ensaio: protector activo	H	A	F

Tabela 7.11 – Posições a testar para cada participante (continua)

Sujeito		POSIÇÕES		
		1º sinal	2º sinal	3º sinal
14	1º ensaio: tampão	D	A	H
	2º ensaio: protector passivo	F	G	C
	3º ensaio: protector activo	H	I	A
	4º ensaio: sem protectores	C	D	H
15	1º ensaio: protector passivo	A	H	D
	2º ensaio: protector activo	I	E	B
	3º ensaio: sem protectores	E	C	G
	4º ensaio: tampão	C	E	I
16	1º ensaio: protector activo	D	I	A
	2º ensaio: sem protectores	E	A	I
	3º ensaio: tampão	A	H	E
	4º ensaio: protector passivo	G	C	B
17	1º ensaio: sem protectores	A	E	G
	2º ensaio: tampão	I	G	B
	3º ensaio: protector passivo	G	C	E
	4º ensaio: protector activo	B	G	I
18	1º ensaio: tampão	A	E	G
	2º ensaio: protector passivo	E	C	I
	3º ensaio: protector activo	G	D	C
	4º ensaio: sem protectores	H	A	F
19	1º ensaio: protector passivo	F	D	H
	2º ensaio: protector activo	I	E	A
	3º ensaio: sem protectores	I	B	D
	4º ensaio: tampão	B	F	D
20	1º ensaio: protector activo	A	C	I
	2º ensaio: sem protectores	B	I	G
	3º ensaio: tampão	F	C	G
	4º ensaio: protector passivo	H	F	C

Tabela 7.11 – Posições a testar para cada participante (continuação)

Capítulo 8 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 – Critérios para avaliação

As respostas de cada participante, considerando o tipo de protector utilizado ou a sua não utilização, foram analisadas, verificando – se se estas estavam correctas no que diz respeito ao parâmetro “sentido” e/ ou ao parâmetro “distância”, explicados anteriormente. Isto é, para cada sinal emitido numa determinada posição, verificou-se se a resposta dada pelo participante no ensaio correspondia à correcta ou se, pelo contrário, correspondia a uma posição distinta. Neste caso, interessava também registar qual o desvio em relação à posição correcta.

Para uma melhor avaliação destes resultados, atribuiu-se uma pontuação de acordo com a seguinte tabela:

Pontuação	Sentido	Distância
0	Não há desvio de posição	Não há desvio de posição
1	Existe desvio de 1 posição	Existe desvio de 1 posição
2	Existe desvio de 2 posições	Existe desvio de 2 posições

Tabela 8.1 – Pontuação atribuída às respostas em função da posição “alvo”.

A pontuação usada é sempre em termos absolutos, ou seja, não há diferenciação se o desvio é para a direita ou para a esquerda, no que diz respeito ao parâmetro “sentido”, ou se o desvio é para mais próximo ou para mais afastado, no tocante ao parâmetro “distância”.

Esta regra surge devido ao facto de, em todas as situações, existir um risco associado à não identificação do sinal sonoro de alarme. Facilmente se compreende que o trabalhador, ao pensar que o sinal de alarme está longe quando ele efectivamente está perto, poderá originar uma situação de risco. O mesmo acontece na situação inversa, uma vez que tal irá originar uma preocupação e insegurança por parte do trabalhador que, muito provavelmente, não se justifica. Esta situação pode ainda ter outras implicações, basta pensarmos que o trabalhador irá, muito provavelmente, ignorar o alarme caso se aperceba frequentemente que o empilhador está realmente afastado, quando ele julga que ele está próximo.

8.2 – Resultados

Usando a nomenclatura anteriormente citada e comparando com as posições reais, os resultados obtidos encontram-se na próxima tabela:

Participante	Sem protectores		Tampão		Protector Passivo		Protector Activo	
	Sentido	Distância	Sentido	Distância	Sentido	Distância	Sentido	Distância
1	0	1	0	0	0	1	1	2
	0	1	1	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	1	2	1
	0	1	0	0	0	2	1	0
	0	0	0	1	2	1	0	0
3	0	0	0	0	0	1	2	0
	0	0	0	1	0	1	0	1
	0	1	0	1	0	0	0	1
4	1	1	1	1	1	1	0	2
	0	0	0	1	0	1	0	2
	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	1	0	2	0	1	1
	0	1	0	1	1	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	1	1
	0	1	1	1	0	2	0	0
	0	1	0	2	0	1	0	1
7	0	1	1	0	1	1	0	1
	0	1	0	1	1	1	0	1
	0	0	1	0	0	2	0	0
8	0	0	0	0	1	1	0	1
	0	1	0	0	0	1	0	2
	0	1	0	0	1	1	0	1
9	0	1	0	0	1	0	1	0
	1	1	0	1	1	1	1	2
	0	2	0	1	1	1	1	0
10	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	1	0	1	1	2
	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	2	0
	0	0	0	1	1	2	0	1
	0	1	1	0	1	0	0	1
12	1	2	0	2	0	0	0	0
	0	0	1	0	2	1	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	0
13	1	0	2	0	1	1	3	3
	0	1	1	0	0	1	0	2
	0	0	1	0	0	1	0	1
14	0	1	0	0	0	1	1	2
	0	0	0	2	1	0	0	1
	0	0	0	0	0	1	0	1
15	1	1	2	1	2	0	2	2
	2	1	0	1	1	2	1	0
	2	2	2	2	2	0	0	0
16	0	1	0	1	2	0	2	1
	0	2	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	0	0	2	1	2

Tabela 8.2 – Desvio das respostas dadas para cada participante e para cada tipo de protector (continua).

Participante	Sem protectores		Tampão		Protector Passivo		Protector Activo	
	Sentido	Distância	Sentido	Distância	Sentido	Distância	Sentido	Distância
17	0	0	0	0	0	0	1	1
	0	1	1	0	0	0	1	2
	0	1	0	2	0	2	1	1
18	0	1	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	1	0	0	1	1
19	1	0	0	1	0	1	1	0
	1	1	0	1	0	0	1	2
	0	0	0	1	0	1	1	2
20	1	0	0	0	1	0	0	1
	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1	0	0	1
Total	12	33	18	36	29	42	31	53
	45		54		71		81	

Tabela 8.2 – Desvio das respostas dadas para cada participante e para cada tipo de protector (continuação).

Pela análise destes desvios, verifica-se que o Protector Activo apresenta um maior desvio relativamente à posição “alvo” e, como seria de esperar, a melhor percepção do sinal sonoro verifica-se quando não são usados os Protectores Auditivos (menor desvio). Consta-se também que, quer com o uso dos Protectores Auditivos ou sem eles, é mais difícil identificar a distância do sinal sonoro (maior desvio) do que a sua orientação espacial (sentido).

Para uma melhor compreensão do desempenho dos protectores na percepção do sentido e da distância do sinal de alarme, foi elaborado um resumo com as frequências obtidas para cada pontuação e respectivas percentagens. Estas análises são apresentadas nas próximas tabelas:

Pontuação	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo	TOTAL	
0	50	45	37	33	165	69,0%
1	8	12	17	21	58	24,3%
2	2	3	6	5	16	6,7%

Tabela 8.3 – Frequência de respostas (N=60) em relação ao parâmetro “sentido”.

Pontuação	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo
0	83,3%	75,0%	61,7%	55,9%
1	13,3%	20,0%	28,3%	35,6%
2	3,3%	5,0%	10,0%	8,5%

Tabela 8.4 – Percentagem de respostas em relação ao parâmetro “sentido”.

Pontuação	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo	TOTAL	
0	31	30	25	22	108	45,2%
1	25	24	28	24	101	42,3%
2	4	6	7	13	30	12,6%

Tabela 8.5 – Frequência de respostas em relação ao parâmetro “distância”.

Pontuação	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo
0	51,7%	50,0%	41,7%	37,3%
1	41,7%	40,0%	46,7%	40,7%
2	6,7%	10,0%	11,7%	22,0%

Tabela 8.6 – Percentagem de respostas em relação ao parâmetro “distância”.

Novamente se constata que com a utilização dos Protectores Auditivos existe uma redução na capacidade de identificação da distância e da orientação espacial do sinal sonoro (sentido).

Com a não utilização dos Protectores Auditivos, verifica-se pela tabela 8.7, que quase metade das respostas dadas pelos participantes (46.7%), acertaram na posição “alvo”, ou seja, conseguiram ter a correcta percepção do sinal sonoro (pontuação 0 em ambos os parâmetros, sentido e distância)

Os valores referidos na tabela 8.7 mostram também que um aspecto crítico é a diminuição dos acertos com a utilização dos Protectores Auditivos, que decresce cerca de 25% (considerando os piores resultados obtidos com Protectores, fica $46.7\% - 21.0\% = 25.7\%$).

Pontuação	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo
0	46,7%	31,7%	25,0%	21,0%

Tabela 8.7 – Percentagens de respostas com acerto na posição “alvo” (em simultâneo nos parâmetros “sentido” e “distância”).

O não acerto na posição “alvo” é motivado essencialmente pela dificuldade em identificar a distância, ou seja, avaliar se o sinal sonoro estava perto ou longe. Mesmo sem protectores, esta

situação também é válida. Em contrapartida, em todos os casos, existe uma maior facilidade em distinguir se o sinal era emitido do lado direito, do centro ou do lado esquerdo.

Verifica-se que os resultados obtidos para o Tampão são os que mais se aproximam dos obtidos para Sem protectores (tabela 8.8).

Pontuação	Parâmetro	Sem protectores	Tampão	Protector Passivo	Protector Activo
1 ou 2	Sentido	16,6%	25,0%	38,3%	44,1%
	Direcção	48,4%	50,0%	58,4%	62,7%

Tabela 8.8 – Percentagens de respostas com desvios nos parâmetros “sentido” e “distância”.

Para uma melhor visualização da influência de cada tipo de protector auditivo na percepção da localização do sinal sonoro de alarme, e de acordo com a tabela 8.2, foi construído um gráfico elucidativo dos desvios totais para cada tipo de protector (figura 8.1).

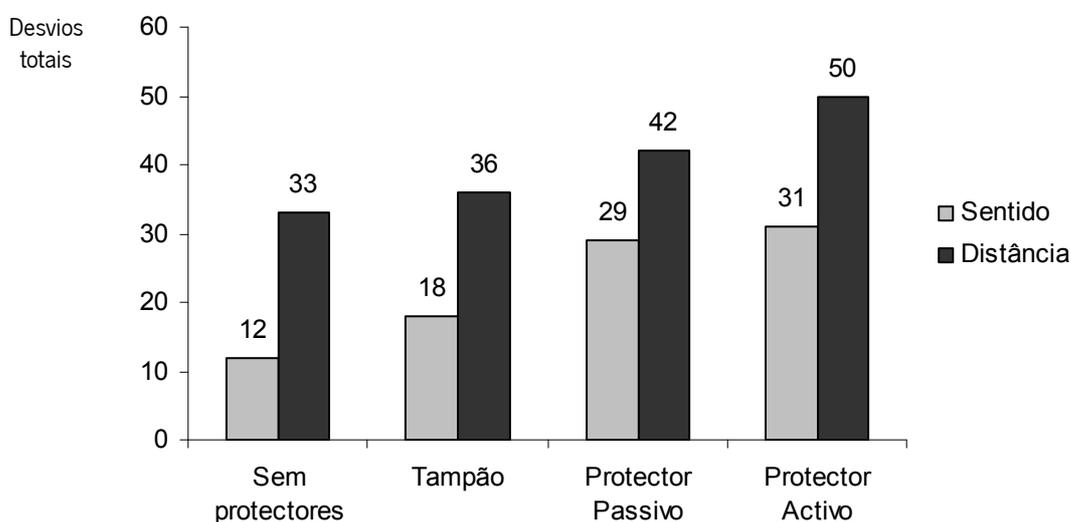


Figura 8.1 – Desvios totais em relação ao parâmetro “sentido” e ao parâmetro “distância”

para cada tipo de protector.

Verifica-se que o uso do Tampão como Protector Auditivo é a melhor opção no que toca à capacidade de identificar a distância e a orientação espacial do estímulo sonoro. Em contrapartida, a utilização do protector activo é desaconselhável.

Outra análise que se pode fazer com a realização destes ensaios é verificar a percentagem de acertos consoantes a posição utilizada nos testes, que está representada nos próximos dois gráficos:

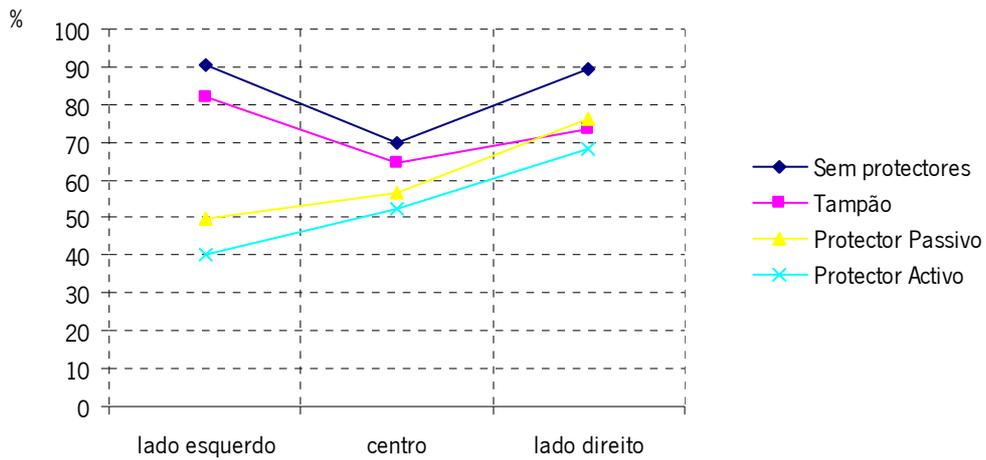


Figura 8.2 – Percentagem de acertos em relação ao parâmetro "sentido".

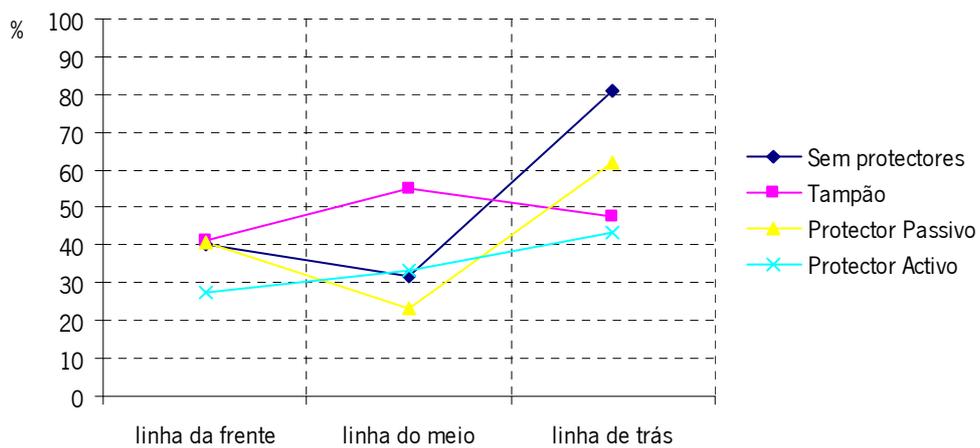


Figura 8.3 – Percentagem de acertos em relação ao parâmetro "distância".

O que se verifica em relação ao parâmetro “sentido” é que existe uma diminuição de acertos ao centro para o Tampão e Sem protectores. Tanto para o Protector Passivo como para o Protector Activo existe um aumento do desempenho do lado esquerdo até ao lado direito.

Relativamente ao parâmetro “distância” constata-se que Sem protectores e o Protector Passivo apresentam o mesmo comportamento, ou seja, apresentam um óptimo desempenho na linha de trás. Exceptuando o Tampão, todos os restantes melhoraram o seu desempenho na linha de trás.

Apesar de não se conseguir perceber uma explicação imediata e óbvia para os resultados anteriormente descritos, constata-se que em todas as situações, existe uma maior dificuldade em identificar o sinal sonoro relativamente ao parâmetro “distância” e se este estiver mais próximo do sujeito (só no tampão auditivo é que tal não se verifica). No caso do parâmetro “sentido” verifica-se que a dificuldade surge no centro e não nos lados.

8.3 – Análise estatística dos valores dos desvios das respostas

a) Parâmetro “sentido” do estímulo acústico

A tabela seguinte mostra os valores da pontuação relativa ao desvio na resposta em função da condição de protecção auditiva do sujeito de ensaio.

	Desvio			
	Média	dp	Mínimo	Máximo
Sem protector	0,20	0,480	0	2
Tampão	0,30	0,561	0	2
Protector Passivo	0,48	0,676	0	2
Protector Activo	0,57	0,722	0	3
Total	0,39	0,630	-	-

Tabela 8.9 – Valores do desvio da resposta no sentido (N=60) em função da condição de protecção.

Por forma a analisar a possível diferença, estatisticamente significativa, entre os vários grupos considerados em termos da condição de protecção do sujeito de ensaio, foi aplicada uma análise ANOVA (de um sentido), cujos valores são apresentados na tabela 8.10.

Pela análise levada a cabo, podemos afirmar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$) no desvio da resposta quando se consideram os diferentes grupos relativos à condição de protecção dos sujeitos. Por outras palavras, existem diferenças significativas em

termos de desvio da resposta, no tocante à identificação do sentido do estímulo acústico, quando se comparam as várias condições de protecção testadas, nomeadamente, a não protecção, e a utilização de 3 tipos de protectores distintos.

	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F	Significância
Entre grupos	5,046	3	1,682	4,415	0,005
Dentro dos grupos	89,917	236	0,381		
Total	94,963	239			

Tabela 8.10 – Análise ANOVA para a variável referente ao desvio da resposta no sentido e a condição de protecção.

b) Parâmetro “distância” do estímulo acústico

A tabela seguinte mostra os valores da pontuação relativa ao desvio na resposta em função da condição de protecção auditiva do sujeito de ensaio.

Distância do estímulo	Desvio			
	Média	dp	Mínimo	Máximo
Sem protector	0,55	0,622	0	2
Tampão	0,60	0,669	0	2
Protector Passivo	0,70	0,671	0	2
Protector Activo	0,88	0,804	0	3
Total	0,68	0,702	-	-

Tabela 8.11 – Valores do desvio da resposta na distância (N=60) em função da condição de protecção.

Por forma a analisar a possível diferença, estatisticamente significativa, entre os vários grupos considerados em termos da condição de protecção do sujeito de ensaio, foi aplicada uma análise ANOVA (de um sentido), cujos valores são apresentados na tabela 8.12.

	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F	Significância
Entre grupos	3,900	3	1,300	2,690	0,047
Dentro dos grupos	114,033	236	0,483		
Total	117,933	239			

Tabela 8.12 – Análise ANOVA para a variável referente ao desvio da resposta na distância e a condição de protecção.

À semelhança do verificado no teste estatístico para o outro parâmetro testado, podemos afirmar que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) no desvio da resposta quando se consideram os diferentes grupos relativos à condição de protecção dos sujeitos.

Embora com uma menor significância estatística, verifica-se que, quando se analisa o parâmetro relativo à distância do estímulo acústico, existem diferenças significativas em termos de desvio da resposta nas várias condições de protecção testadas, nomeadamente, a não protecção, e a utilização de 3 tipos de protectores distintos.

O gráfico da figura 8.4 permite ilustrar visualmente as diferenças entre as várias condições de protecção, relativamente a ambos os parâmetros testados, do desvio da resposta.

Assim, é possível constatar que o melhor desempenho (menor desvio) é conseguido, como seria de esperar, quando o utilizador não usa protecção. Relativamente aos protectores é possível também verificar graficamente que o melhor desempenho é conseguido nos tampões, seguido dos protectores passivos e dos protectores activos.

É também facilmente constatável que a mesma ordem decrescente de desempenho se aplica a ambos os parâmetros (sentido e distância), uma vez que as curvas apresentadas têm uma inclinação semelhante. Por outro lado, nota-se que o desempenho é, manifestamente, melhor em termos do parâmetro sentido uma vez que os desvios apresentados neste parâmetro são menores em todas as condições de protecção.

Pese embora o parâmetro distância apresentar maiores desvios em todas as condições, se utilizarmos como referência a condição de “sem utilização” de protectores auditivos, verificámos que a maior diferença diz respeito ao parâmetro sentido, uma vez que a diferença máxima é, neste caso, de 0,37 (0,57-0,20), enquanto que para o parâmetro distância a diferença é de apenas 0,33 (0,88-0,55).

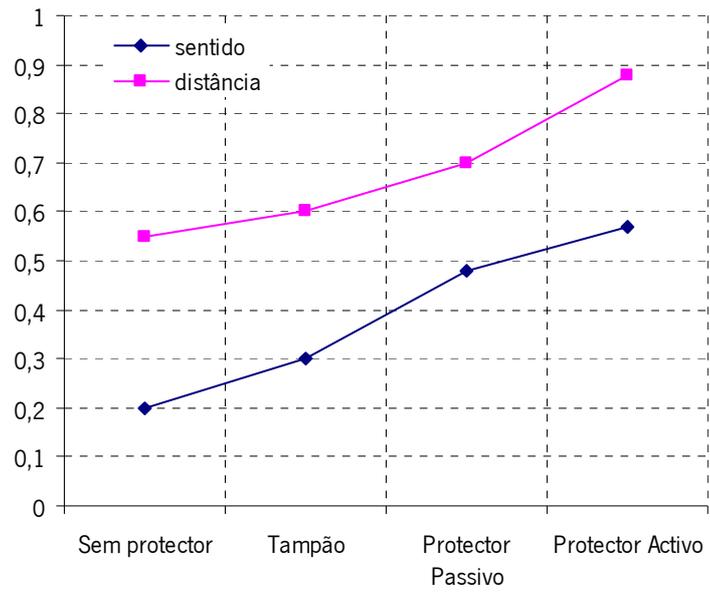


Figura 8.4 - Média dos desvios nas respostas em função da condição de protecção.

Capítulo 9 – CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Muitos trabalhadores queixam-se que com o uso de Protectores Auditivos não têm percepção de ouvir os sinais de alarme (Wilkins e Martin, 1987) ou pelo menos esta é bastante afectada pela utilização, e tal comportamento acaba por se justificar de acordo com alguns dados obtidos ao longo deste estudo. Contudo, o que também se verificou com os resultados obtidos é que mesmo sem o uso de Protectores Auditivos existe uma dificuldade na percepção da distância e na localização espacial de estímulos acústicos.

No entanto, e como expectável, o uso de Protectores Individuais Auditivos prejudica a percepção do sinal sonoro, embora como anteriormente já citado, esta dificuldade de percepção auditiva já exista independentemente da condição de protecção.

A dificuldade na percepção dos sinais auditivos de alarme apresenta implicações graves no que diz respeito às situações de trabalho. Situações potenciadoras de acidentes ou de insegurança constante fazem com que seja importante identificar a localização espacial do sinal sonoro e, de igual modo, tornam vital identificar a distância do mesmo.

Com os resultados obtidos neste estudo, verifica-se que a utilização de protectores activos deve ser feita com algumas cautela, em particular se se tratar de ambientes acústicos onde exista a necessidade dos operadores identificarem a origem de alguns estímulos acústicos. Neste tipo de ambientes acústicos, e segundo os resultados obtidos, se houver necessidade de proteger os trabalhadores, esta protecção deverá ser feita utilizando preferencialmente tampões, uma vez que estes foram os protectores que revelaram uma menor interferência com a correcta percepção da origem dos estímulos acústicos.

Estes resultados também foram de encontro às afirmações feitas por outros investigadores que referem que, em situações em que é necessário localizar a direcção das fontes de ruído, deve ser evitada a utilização de protectores auditivos do tipo abafador, dado que este tipo de protectores impede, ou dificulta, tal localização (Tabachnick, 1994; Persson et al., 1997; Robinson et al., 2000).

É de referir que a principal dificuldade surgida neste estudo, e em todas as situações testadas, foi a identificação da distância, em particular quando o sinal sonoro está mais próximo do sujeito (só no tampão auditivo é que tal não se verificou). Relativamente ao sentido, verificou-se que o maior entrave surgiu quando o estímulo acústico é emitido no centro, e não lateralmente ao utilizador (esquerda/direita).

Para locais de trabalho onde seja importante, ou mesmo essencial, a percepção do sinal sonoro de alarme com o uso de equipamentos de protecção individual, seria benéfico proceder a um treino/ formação para que o trabalhador possa aperfeiçoar a sua susceptibilidade/sensibilidade aos sinais sonoros. Deste modo, o utilizador poderia reconhecer com maior facilidade os sinais acústicos e, assim, criaria defesas e auto-confiança para normalmente executar as tarefas incumbidas e, em simultâneo, encontrar-se-ia numa situação de maior segurança. Outra solução seria averiguar a possibilidade de associar ao sinal sonoro de alarme um sinal visual de alarme num local visível para o trabalhador.

Termina-se o presente trabalho com a apresentação de um conjunto de sugestões para futuros desenvolvimentos, no âmbito da área de investigação desta tese. Assim, salientam-se aquelas propostas que, tendo em consideração o trabalho realizado e os resultados obtidos, se consideram de especial actualidade e importância:

- Incluir na amostra de participantes, trabalhadores com experiência no meio industrial e no uso de Protectores Auriculares, para avaliar se a experiência pode influenciar os resultados obtidos e alargar a amostra a participantes de diferentes faixas etárias;
- Alterar as condições de ensaio, utilizando diferentes tipos de sala, incluindo locais menos reverberantes;
- Incluir no estudo um protector de redução activa de ruído (ANR) e analisar o seu comportamento em termos dos parâmetros estudados nesta tese;
- Analisar o desempenho da utilização combinada de protectores auditivos, nomeadamente da utilização combinada de tampões e abafadores;
- Incluir ruído de fundo na realização dos testes e analisar a sua influência, bem como equacionar a realização de um estudo com diferentes sinais de alarme e usando, por exemplo, sinais predominantemente de baixa e alta frequência.

BIBLIOGRAFIA

1. Abel, S., Spencer, D. (1997). *Active noise reduction versus conventional hearing protection: Relative benefits for normal hearing and impaired listeners*. Scandinavian Audiology. 26(3), pp. 155-167.
2. Abel, S.M., and Hay, V.H. (1996). *Sound localization: The interaction of aging, hearing loss and hearing protection*. Scandinavian Audiology. 25(1), pp. 3-12.
3. Abel, S. M., Kunov, H., Pichora-Fuller, M.K., and Alberti, P.W. (1984). *Signal detection in industrial noise: Effects of noise exposure history, hearing loss, and the use of ear protection*. Scandinavian Audiology. 14, pp. 161-173.
4. Abel, S. M., Kunov, H., Pichora-Fuller, M.K., and Alberti, P.W. (1983). *Hearing Protectors: Signal Detection in Industrial Noise and the Effect of Noise Exposure History* (Technical Report). Toronto, Ontario: Mount Sinai Hospital, Department of Otolaryngology, Silverman Hearing Research Laboratory.
5. Abel, S., Alberti, P.W., Haythornwaite, C., Riko, K. (1982). *Speech intelligibility in noise: Effects of fluency and hearing protector type*. J. Acoust. Soc. Am. 71(3), pp. 708-715.
6. Abelenda, Catarina (2006). *Avaliação do conforto dos protectores individuais auditivos*. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães.
7. Arezes, Pedro (2002). *Percepção do Risco de Exposição Ocupacional ao Ruído*. Tese de Doutoramento. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães.
8. Arezes, Pedro; Miguel, A.S. (1999) *Influência do conforto na eficiência dos protectores individuais auditivos*. *TecniAcustica*. Avila. Ref PACS: 43-66Vt
9. Atherley, G. R. C., and Noble, W.G. (1970). *Effect of ear-defenders (ear muffs) on the localization of sound*. British Journal of Industrial Medicine. 27, pp. 260-265.
10. Bauer, R. W., Matuzsa, J.L., Blackmer, R. F. and Glucksberg, S. (1966). *Noise localization after unilateral attenuation*, Journal of Acoustical Society of America. 40, pp 441-444
11. Berg, G., Hiselius, P. (2000). *Uniform-Attenuation Hearing Protectors provide superior protection for hearing-impaired wearers*. NHCA Spectrum.17(1), pp. 16-18.
12. Berger, E. (1980a). *The Performance of Hearing Protectors in Industrial Noise Environments*. EARLog Series. 4, AERO Company, Indianapolis, USA.
13. Berger, E. (1980b). *Hearing Protector Performance: How They Work - and - What Goes Wrong in the Real World*. EARLog Series. 5. AERO Company, Indianapolis, USA.
14. Bolia, Robert. *The effects of hearing protection on the localization of sound*. AFRL's Human Effectiveness Directorate. Crew System Interface Division, Human Interface Technology Branch, Wright – Patterson AFB OH.Ref. HE-02-01.
15. Brandolt, Paulo (2001). *Análise das características acústico/ mecânico dos protectores auditivos*. Pós graduação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
16. Butler, M., Graveling, R., Pilkington, A., Boyle, A. (1999). *Non-auditory effects of noise at work: a critical review of the literature past 1988*. Health and Safety Executive Contract Research Report No. 241/1999, 88 pgs., United Kingdom.

17. Cabrera, Denis; Gilfillan, David (2002). *Auditory distance perception of speech in the presence of noise*. Proceedings of the 2002 International Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan.
18. Casali, J. G. and Berger, E. H. (1996). *Technology Advancements in Hearing Protection Circa 1995: Active Noise Reduction, Frequency/Amplitude-Sensitivity, and Uniform Attenuation*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57(2), pp. 175-185.
19. Casali, J. G., Mauney, D. W., and Burks, J. A. (1995). *Physical versus Psychophysical Measurement of Hearing Protector Attenuation - a.k.a. MIRE vs. REAT*, Sound and Vibration, 29(7), pp. 20-27.
20. Casali, J. G., Park, M. (1990). *Attenuation performance of four hearing protectors under dynamic movement and different user fitting conditions*. Human Factors. 32(1), pp. 9-25.
21. Casali, J., Lam, S., Epps, B. (1987). *Rating and ranking methods for hearing protector wearability*, Sound & Vibration, 21(12), pp. 10-19.
22. Christian, Erika (1999). *The detection of warning signals while wearing active noise reduction and passive hearing protection devices*. Blacksburg, Virginia. Master of Science. Virginia Polytechnic Institute and State University
23. Coleman, G; Graves, R; Collier, S; Golding, D; Nicholl, A; Simpson, G; Sweetland, K; Talbot, C (1984). *Communications in noisy environments*.
24. Crabtree, R. (1998). *Real-world performance of headset active noise reduction systems*, J. Acoust. Soc. Am. 104(3),p. 1806.
25. Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro - «Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devido ao ruído». Diário da República.
26. Decreto Regulamentar nº 9/92 de 28 de Abril (1992). *Regulamenta o DL 72/92*. Diário da República.
27. Ellermeier, W., Eigenstetter, M., Zimmer, K. (2001). *Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity*. Journal of the Acoustical Society of America. 109(4), pp. 1464-1473.
28. Endruweit G., Hack F. (1977). *Stoeren Gehoerschutzkapseln in Laermbereichen die Kommunikation noch zusaetzlich*. Sicherheitsingenieur. 8 (9), pp. 22-25.
29. EPA (1981). *Noise in America: the extent of the noise problem* (EPA Report 550/9-81-101). Washington, D.C.: Environmental Protection Agency
30. Fernandes, J.C. (2003). *Effects of hearing protector devices on speech intelligibility*. Applied acoustics. 64, pp.581-590.
31. Fidell, S. (1978). *Effectiveness of audible warning signals for emergency vehicles*. Human Factors. 20(1), pp. 19-26.
32. Forshaw, S.E. (1977). *Listening for machinery malfunction in noise while wearing earmuffs* (DCIEM Technical Report No. 77x43). Ontario, Canada: Department of National Defense . Canada, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Behavioral Division.
33. Floru, R., Cnockaert, J. C. (1994). *Effets non traumatiques du bruit sur la santé, la sécurité et l'efficacité de l'homme au travail: etude bibliographique*. Cahiers de notes documentaires nº 154, 1er trimestre, INRS, France.

34. Fortin, M., Hetu, R., Quoc, H., Denis, S. (1996). *The effect of head protectors on warning sound perception in noisy workplaces*, J. Acoust. Soc. Am. 99(4), pp. 2563-2574.
35. Grantham, D.; Vause, Nancy (1999). *Effects of earplugs and protective headgear on auditory localization ability in the horizontal plane*. Human factors. 41, pp. 2-294.
36. Haas, E. C., Casali, J. G. (1995). *Perceived urgency of and response time to multi-tone and frequency-modulated warning signals in broadband noise*. Ergonomics.38 (11), pp. 2313-2326.
37. Hamernik, R. P., Ahroon, W. A. (1998). *Interrupted noise exposures: Threshold shift dynamics and permanent effects*. J.Acoust. Soc. Am.103(6), pp. 3478-3488.
38. Howell K., Martin A. M. (1975). *An investigation into the effects of hearing protectors on vocal communication in noise*. Journal of Sound, and Vibration. 41, pp. 181-196.
39. HVBG (1998). *BGR 194: Rules for the application of hearing protectors*. BG rules. Hauptverband der Gewerblichen. Berufsgenossenschaften.
40. ISO 4869-1 (1981). *Acoustique - Mesurage d'affaiblissement acoustique des protecteurs individuels contre le bruit - Méthode subjective*. International Standards Organization, Genève.
41. ISO 4869-2 (1994). *Acoustique - Protecteurs individuels contre le bruit. Partie 2: Estimation des niveaux de pression acoustique pondérés A en cas d'utilisation de protecteur individuels contre le bruit*. International Standards Organisation, Genève.
42. Jullien, Jean- Pascal; Warusfel, Oliver (1994). *Technologies et perception auditive de l'espace*. Centre Georges Pompidou. Cahiers de l'Ircam (5).
43. Kong, Dongjoon; Lee, Jun-Seok (2006). *Investigation of hearing protection effects in an extreme noise environment with an alarm location problem*. International Journal of Industrial Ergonomics. 36, pp. 685-693.
44. Kryter K. D. (1946). *Effects of ear protective devices on the intelligibility of speech in noise*. Journal of the Acoustical Society of America.18, pp. 413-417.
45. Liedtke, M. (2000). *Hearing protection*. Proceedings of the Second International Conference ERGON-AXIA 2000.
46. Liedtke, M. (1999). *Use of Zwicker Method to Predict Signal Audibility in Noise With Hearing Protection Devices*. J.Acoust. Soc. Am. 105(2), p. 1131.
47. Loeb, Michel (1986). *Noise and Human Efficiency*, Wiley series on studies in human performance. John Wiley & Sons
48. Melamed, S., Fried, Y., Froom, P. (2001). *The Interactive Effect of Chronic Exposure to Noise and Job Complexity on Changes in Blood Pressure and Job Satisfaction: A Longitudinal Study of Industrial Employees*. Journal of Occupational Health Psychology. 6 (3), pp. 182-195.
49. Melamed, S., Bruhis, S. (1996a). *The effects of chronic industrial noise on urinary cortisol, fatigue and irritability – A controlled field experiment*. Journal of Occupational and Environmental Medicine. 38 (3), pp. 252-256.
50. Mershon, Donald; Lin, Lee-Jean (1987). *Directional localization in high ambient noise with and without the use of hearing protectors*. Ergonomics. 30 (8), pp. 1161-1173.
51. Miguel, A. S. (2005). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. Porto Editora. 8ª edição.

52. Nielsen, Rudolf (2001). *Comportamento de três protectores auriculares tipo concha, em ambientes com ruídos em baixa frequência*. Pós-graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
53. Noble, W.G. and Russel, G., (1972). *Theoretical and practical implications of the effects of hearing protection devices on localization ability*. Acta Otolaryngologica. 74, pp 29 – 36.
54. NP EN 352-1 (1996). *Protectores Auditivos - Requisitos de segurança e ensaios - Parte 1: Protectores auriculares*. IPQ/CEN. Lisboa.
55. NP EN 352-2 (1996) *Protectores Auditivos - Requisitos de segurança e ensaios - Parte 2: Tampões auditivos*. IPQ/CEN. Lisboa.
56. NP EN 352-3 (1997). *Protectores Auditivos - Requisitos de segurança e ensaios - Parte 2: Protectores auriculares montados em capacetes de protecção*. IPQ/CEN. Lisboa.
57. NP EN 458 (1996). *Protectores Auditivos - Recomendações relativas à selecção, à utilização, aos cuidados na utilização e à manutenção - Documento Guia*. IPQ/CEN. Lisboa.
58. Park, M., Casali, J. G. (1991). *An Empirical Study of Comfort Afforded by Various Hearing Protection Devices: Laboratory versus Field Results*. Applied Acoustics. 34, pp. 151-179.
59. Persson, L., Patton, E. (1997). *Hearing protection selection*. Occup. Health Saf. 66(10), pp. 139-141.
60. Pimentel-Souza, F. (2000). *Efeitos do Ruído no Homem Dormindo e Acordado*. Acústica e Vibrações, n° 25, SOBRAC, Brasil.
61. Robinson, G. S., Casali, J. G. (2000). *Issues Relating to the conduct of empirical research into the detection of auditory stimuli in noise when wearing nontraditional hearing protectors*. Proceedings of IEA2000/HFES 2000 Congress, San Diego. 3, pp. 722-725.
62. Scharf B., Meiselman C. H. (1977). *Critical bandwidth at high intensities*.137. In: Evans E F and Wilson J P, Eds. Psychophysics and physiology of hearing. London. Academic press. pp. 221-232.
63. Spencer, Deborah; Abel, Sharon (1999). *Speech understanding in noise with earplugs and muffs in combination*. Elsevier. Applied Acoustics. 57, pp. 61-68.
64. Suter, A. (1994). *Comments on Occupational Noise to the OSHA Standards Planning Committee*. Docket No. C-04. NPC. Library, disponível online em www.nonoise.org/library
65. Suter, A. H. (1986). *Hearing conservation*. In E.G. Berger, W.D. Ward, J.C. Morrille, and L.H. Royster (Eds.), *Noise and Hearing Conservation Manual* (pp. 1-18). Akron, OH: American Industrial Hygiene Association.
66. Suter, A. H. (1989). *The Effects of Hearing Protectors on Speech Communication and the Perception of Warning Signals* . (Technical Memorandum 2-89). Aberdeen Proving Ground, Maryland: U.S. Army Human Engineering Laboratory, Gallaudet University.
67. Tabachnick, B. (1994). *Hearing protectors devices for consumers*, Consumer's research magazine. 77, issue 12, pp. 27-30.
68. Talbott, E., Gibson, L., Burks, A., Engberg, R., McHugh, K. (1999). *Evidence for a dose-response relationship between occupational noise and blood pressure*. Archives of Environmental Health. 54(2), pp. 71-78.

69. Talbott, E. *et al.* (1996). *Occupational noise exposure, use of hearing protectors over time and the risk of high blood pressure: The results of a case/control study*. INTER-NOISE 96, Herts, UK, p. 91.
70. Weber D. L. (1977). *Growth of masking and the Auditory Filter*. Journal of the Acoustical Society of America. 62, pp. 424-429.
71. White, D. R., Boettcher, F. A., Miles, L. R., Gratton, M. A. (1998a). *Effectiveness of intermittent and continuous acoustic stimulation in preventing noise-induced hearing and hair cell loss*. J. Acoust. Soc. Am. 103(3), pp.1566-1572.
72. Wilkins, P.A., and Martin, A. M. (1987). *Hearing protection and warning sounds in industry: a review*. Applied Acoustics, 24, pp. 267-293.
73. Wilkins, P.A., and Martin, A.M. (1985). *The role of acoustical characteristics in the perception of warning sounds and the effects of wearing hearing protection*. Journal of Sound and Vibration. 100(2), pp. 181-190.
74. Wilkins, P.A. (1984). *A field study to assess the effects of wearing hearing protectors on the perception of warning sounds in an industrial environment*. Applied Acoustics, 17, pp. 413-437.
75. Wilkins, P., Acton, W. (1982). *Noise and Accidents: a review*, Annals of Occupational Hygiene, 25, pp. 249-260.
76. Wilkins, P.A., and Martin, A.M. (1982). *The effects of hearing protection on the perception of warning sounds*. In P.W. Alberti (Ed.). Personal Hearing Protection in Industry (pp.339-369). New York: Raven Press.
77. Wilkins, P.A., and Martin, A.M. (1977). *The effect of hearing protectors on the masked threshold of acoustic warning signals*. Paper presented at the 9th International Congress on Acoustics, Madrid, Spain.
78. Zera, Jan (2004). *Speech intelligibility measured by adaptive maximum-likelihood procedure*. Speech communication. 42, pp. 313-328.

ANEXOS

ANEXO 1

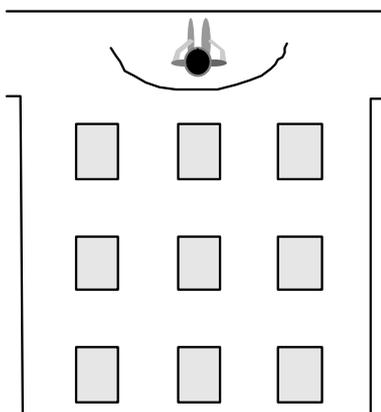
Impresso utilizado pelo participante nº1

PARTICIPANTE N.º 1

IDADE: _____

SEXO: _____

1.º ENSAIO: SEM PROTECTORES



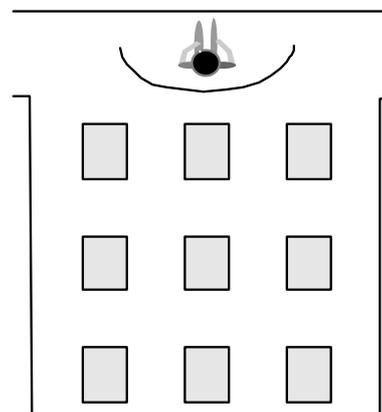
Não é possível localizar

1.º Sinal

2.º Sinal

3.º Sinal

2.º ENSAIO: TAMPÃO



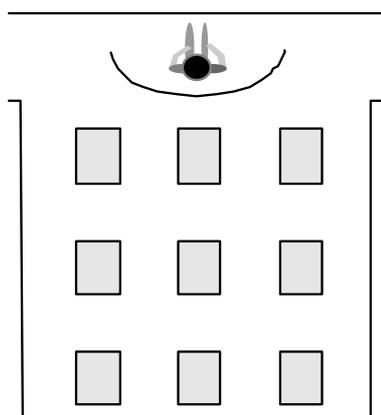
Não é possível localizar

1.º Sinal

2.º Sinal

3.º Sinal

3.º ENSAIO: PROTECTOR PASSIVO



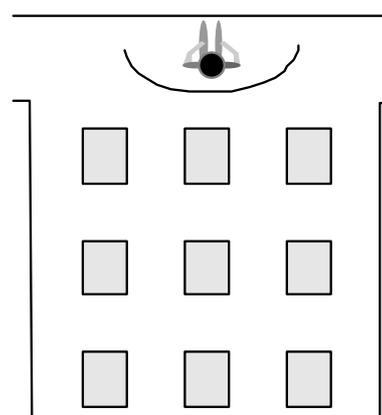
Não é possível localizar

1.º Sinal

2.º Sinal

3.º Sinal

4.º ENSAIO: PROTECTOR ACTIVO



Não é possível localizar

1.º Sinal

2.º Sinal

3.º Sinal

ANEXO 2

Cálculos auxiliares para determinar a atenuação dos protectores

2.1 - TAMPÃO AUDITIVO

		Frequências (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Espectro ponderado A		-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Margem de segurança		2	2	2	2	2	2	2	2
Ultrafit -EAR	Atenuação Média	26,3	27,7	26,4	28,3	26,3	31,2	36,2	40,2
	Desvio Padrão	6,4	7,9	8,2	7,6	5,6	5,5	7,5	5,9

		Frequências (Hz)								L'Aeq
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ponto A	LA,eq f	2,1	20,8	30,8	40,5	66,7	55,1	38,1	27,9	51,7
	APV	-11,4	8,9	20,8	27,4	51,6	34,9	16,9	-0,5	
ponto B	LA,eq f	1,1	20,6	32,6	41,6	67,9	54,3	37,7	30,9	52,9
	APV	-12,4	8,7	22,6	28,5	52,8	34,1	16,5	2,5	
ponto C	LA,eq f	1,7	20,7	30,8	43,9	66,4	56,9	40,7	30,4	51,5
	APV	-11,8	8,8	20,8	30,8	51,3	36,7	19,5	2	
ponto D	LA,eq f	2,2	23,1	34	44,4	63,8	51,3	34,2	26,8	48,9
	APV	-11,3	11,2	24	31,3	48,7	31,1	13	-1,6	
ponto E	LA,eq f	2	22,1	32,2	40,5	65,2	53,8	37,8	29	50,2
	APV	-11,5	10,2	22,2	27,4	50,1	33,6	16,6	0,6	
ponto F	LA,eq f	1,4	20,6	30,4	39,9	64	54	35,9	25,7	49,1
	APV	-12,1	8,7	20,4	26,8	48,9	33,8	14,7	-2,7	
ponto G	LA,eq f	1,6	20	30	39,4	62,7	53,2	33,4	28,5	47,8
	APV	-11,9	8,1	20	26,3	47,6	33	12,2	0,1	
ponto H	LA,eq f	1,9	21,8	33,1	41	63,8	57,8	34,7	28	49,1
	APV	-11,6	9,9	23,1	27,9	48,7	37,6	13,5	-0,4	
ponto I	LA,eq f	2	20	30,1	39	62,5	55,8	34,1	27,5	47,7
	APV	-11,5	8,1	20,1	25,9	47,4	35,6	12,9	-0,9	

2.2 – PROTECTOR PASSIVO

		Frequências (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Espectro ponderado A		-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Margem de segurança		2	2	2	2	2	2	2	2
Bilsom 747	Atenuação Média	17,3	25,0	31,9	36,8	31,4	28,2	34,3	34,9
	Desvio Padrão	2,1	2,6	2,3	3,0	1,9	2,4	2,9	3,8

		Frequências (Hz)								L'Aeq
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ponto A	LA,eq f	2,1	20,8	30,8	40,5	66,7	55,1	38,1	27,9	39,8
	APV	-11,0	1,0	3,5	9,7	39,1	31,7	9,6	0,6	
ponto B	LA,eq f	1,1	20,6	32,6	41,6	67,9	54,3	37,7	30,9	40,8
	APV	-12,0	0,8	5,3	10,8	40,3	30,9	9,2	3,6	
ponto C	LA,eq f	1,7	20,7	30,8	43,9	66,4	56,9	40,7	30,4	39,9
	APV	-11,4	0,9	3,5	13,1	38,8	33,5	12,2	3,1	
ponto D	LA,eq f	2,2	23,1	34,0	44,4	63,8	51,3	34,2	26,8	36,8
	APV	-10,9	3,3	6,7	13,6	36,2	27,9	5,7	-0,5	
ponto E	LA,eq f	2,0	22,1	32,2	40,5	65,2	53,8	37,8	29,0	38,4
	APV	-11,1	2,3	4,9	9,7	37,6	30,4	9,3	1,7	
ponto F	LA,eq f	1,4	20,6	30,4	39,9	64,0	54,0	35,9	25,7	37,4
	APV	-11,7	0,8	3,1	9,1	36,4	30,6	7,4	-1,6	
ponto G	LA,eq f	1,6	20,0	30,0	39,4	62,7	53,2	33,4	28,5	36,2
	APV	-11,5	0,2	2,7	8,6	35,1	29,8	4,9	1,2	
ponto H	LA,eq f	1,9	21,8	33,1	41,0	63,8	57,8	34,7	28,0	38,4
	APV	-11,2	2,0	5,8	10,2	36,2	34,4	6,2	0,7	
ponto I	LA,eq f	2,0	20,0	30,1	39,0	62,5	55,8	34,1	27,5	36,9
	APV	-11,1	0,2	2,8	8,2	34,9	32,4	5,6	0,2	