



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Susana Maria Martins Abreu

**Estudo da influência da proteção  
auditiva na percepção de sinais de alerta  
na presença de ruído de fundo**

Novembro 2012





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Susana Maria Martins Abreu

**Estudo da influência da proteção  
auditiva na percepção de sinais de alerta  
na presença de ruído de fundo**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Humana

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins  
Arezes**

Novembro 2012

## **DECLARAÇÃO**

Nome: Susana Maria Martins Abreu

Endereço electrónico: susanaabreu@iol.pt

Telefone: 00351 918130961

Número do cartão do cidadão: 10631187

Título dissertação: Estudo da influência da proteção auditiva na percepção de sinais de alerta na presença de ruído de fundo.

Orientador: Professor Doutor Pedro Miguel Ferreira Martins Arezes

Ano de conclusão: 2012

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento: Mestrado em Engenharia Humana.

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Universidade do Minho a arquivar mais de uma cópia da dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter a dissertação entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto:

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial

Universidade do Minho, \_\_ / \_\_ / \_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

À minha família



## **AGRADECIMENTOS**

Manifesto o meu sincero agradecimento ao meu Orientador, Doutor Pedro Arezes, por todo o apoio prestado ao longo da elaboração desta tese, pelos seus conhecimentos e pelo sentido crítico mostrado na sua orientação.

Gostaria de agradecer também ao Doutor Néilson Costa e à Doutora Celina Pinto Leão pelas sugestões e correções realizadas.

Não posso deixar de lembrar todos aqueles que participarem nos ensaios, pois sem eles não seria possível concretizar este trabalho.

Por fim, mas jamais em último, aos meus pais e restantes familiares pelo apoio e coragem que me transmitem diariamente, ajudando-me a alcançar os meus objetivos.





## RESUMO

A exposição ao ruído ocupacional assume grande importância nos países industrializados. As máquinas constituem fontes ruidosas muito intensas causando desconforto e perigo para a saúde dos trabalhadores.

Com a realização deste trabalho pretendeu-se estudar em que medida a proteção individual auditiva influencia ou não a percepção de sinais de alarme existentes em ambiente industrial e na presença de ruído de fundo.

Para simular o ambiente industrial no laboratório recorreu-se ao uso de uma cabine audiométrica, na qual foram introduzidos dois estímulos acústicos: o sinal de alarme e o ruído de fundo. O sinal de alarme utilizado foi o sinal emitido por uma máquina têxtil e o ruído de fundo usado foi o ruído branco.

A escolha dos protetores individuais auditivos assentou no facto de estes serem de utilização corrente em meio industrial tendo-se optado por testar um dispositivo de cada tipo. Assim, foi escolhido um modelo de tampão auditivo e, entre os protetores auriculares, selecionou-se um modelo de protetor de funcionamento passivo e outro de funcionamento ativo.

Os testes foram realizados com o participante dentro da cabine audiométrica usando os diferentes tipos de protetores. O sinal de alarme e o ruído de fundo foram emitidos através de colunas individuais e em simultâneo, sendo que a avaliação da percepção ao sinal de alarme que atuava na presença de ruído de fundo foi feita através do sinal gestual que o indivíduo fazia quando ouvia o sinal de alarme.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, para as condições de teste utilizadas, os tampões auditivos e os protetores passivos foram aqueles equipamentos de proteção individual que revelaram uma menor interferência na percepção do sinal de alarme que atuava na presença de ruído de fundo. Do mesmo modo foi possível verificar que os protetores ativos dificultam a percepção do sinal de alarme atuando na presença de ruído de fundo, pelo que poderá ser questionável a sua utilização em ambientes industriais, sobretudo onde existam sistemas de alarme idênticos ao utilizados neste estudo.

**Palavras-Chave:** Ruído, Percepção, Proteção Auditiva, Ruído de Fundo, Sinais de Alerta



## **ABSTRACT**

Occupational noise exposure is of great importance in industrialized countries, as industrial machines are typical relevant noisy sources causing discomfort and risk to the workers' health.

This work aims at studying in what extent individual hearing protection influences, or not, the perception of warning signals in industrial environments and in the presence of background noise.

To simulate the industrial environment in the laboratory, an audiometric booth was used, in which were introduced two acoustic stimuli: the warning signal and the background noise. The warning signal used was one alarm signal from a textile machine and the background noise was white noise.

The choice of the considered individual hearing protectors was justified due to their common use in industrial environments and it was decided to test a device of each type. Thus, it was chosen a model of an earplug and, among the earmuffs, it were selected a passive and an active models.

Tests were performed with the subjects in the audiometric both using the different hearing protection devices. The warning signal and the background noise were emitted simultaneously through individual speakers. The evaluation of the alarm perception with background noise was made by a hand sign made by the subject.

The obtained results showed that, under the used test conditions, earplugs and passive earplugs were the devices showing less interference with the perception of warning signals in the presence of background noise. At the same time it was found that the active earmuffs interfere with the perception of the warning signal in the same conditions. Accordingly, it should be questioned if their use in industrial environments is appropriate, in particular when there are warning systems like the one tested in this study.

**Keywords:** Noise, Perception, Hearing Protection, Background Noise, Warning Signs



# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b>	1
<hr/>	
<b>PARTE I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
<hr/>	
<b>CAPÍTULO I – O RUÍDO E A AUDIÇÃO</b>	5
1.1 – O Ruído	7
1.1.1 – Ruído industrial	8
1.1.2 – Características do ruído	8
1.1.2.1 – A frequência	8
1.1.2.2 – O nível sonoro ou intensidade	10
1.1.2.3 – A duração	10
1.2 – O mecanismo da audição	11
1.2.1 – Anatomia e fisiologia da audição	11
1.2.2 – Limites e tolerância do ruído	12
1.3 – Equipamentos de medição	13
<b>CAPÍTULO II – EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO OCUPACIONAL SOBRE A SAÚDE HUMANA E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL</b>	15
2.1 – Introdução	17
2.2 – Efeitos fisiológicos	17
2.2.1 – Perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) e zumbido	17
2.2.2 – Efeitos cardiovasculares	18
2.3 – Efeitos psicológicos	18
2.4 – Outros efeitos do ruído	19

2.5 - Enquadramento legal	19
2.6 – Medidas de controlo e prevenção	22
<b>CAPÍTULO III – PROTEÇÃO INDIVIDUAL AUDITIVA</b>	25
3.1 - Introdução	27
3.2 – Classificação dos protetores auditivos	27
3.2.1 – Protetores passivos	28
3.2.2 – Protetores ativos	32
3.3 – Métodos de cálculo da atenuação dos protetores auditivos	35
3.3.1 – Método de banda de oitava	35
3.3.2 – Método HML (High, Medium, Low)	36
3.3.3 – Método SNR (Single Number Rating)	37
3.4 – Motivos que conduzem à rejeição do uso de protetores auditivos	37
3.5 – Proteção auditiva combinada	39
<b>CAPÍTULO IV – AUDIBILIDADE DE SINAIS VERBAIS E DE ALARME</b>	41
4.1 – Influência do uso de protetores auditivos	43
4.2 - Mascaramento	45
4.3 – Outros fatores que afetam a audibilidade	46
<b>PARTE II – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b>	
<hr/>	
<b>CAPÍTULO V – METODOLOGIA</b>	51
5.1 - Introdução	53
5.2 – Participantes nos ensaios	53
5.3 – Cabine audiométrica e equipamentos de medição do ruído	53
5.3.1 – Ruído de fundo	54
5.3.2 – Sinal de alarme	60

5.4 – Protetores auditivos utilizados nos ensaios	65
5.5 – Protocolo de ensaio	68
<b>CAPÍTULO VI – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>75</b>
6.1 – Caracterização da amostra	77
6.2 - Resultados	78
<b>CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b>	<b>85</b>
7.1 – Conclusões e desenvolvimentos futuros	87
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>89</b>
<hr/> <b>ANEXOS</b>	<b>94</b>
<hr/>	
Anexo I – Ruído de fundo	
Anexo II – Sinal de alarme	
Anexo III – Consentimento informado	
Anexo IV – Guião de ensaio preliminar	
Anexo V – Ordem de utilização das diferentes condições de proteção na realização dos ensaios	
Anexo VI – Tabela de registo das respostas de cada participante	
Anexo VII – Cálculo estatístico 1: Qui-Quadrado	
Anexo VIII – Cálculo estatístico 2: Qui-Quadrado	
Anexo IX – Pontos críticos da distribuição: $X^2$	





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<b>AESST</b>	Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho
<b>dB</b>	Decibel
<b>EPI</b>	Equipamento de Proteção Individual
<b>HML</b>	High, Medium, Low
<b>Hz</b>	Hertz
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>ISO</b>	International Standards Organization
<b>NIOSH</b>	National Institute for Occupational Safety and Health (EUA)
<b>PAIR</b>	Perda Auditiva Induzida pelo Ruído
<b>PNR</b>	Redução Prevista do Nível Sonoro
<b>RAR</b>	Redução Ativa do Ruído
<b>s</b>	Segundo
<b>SNR</b>	Single Noise Reduction ou Single Number Rating
<b>SPSS</b>	Statistical Package for Social Sciences
<b>%</b>	Porcentagem



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura I.1</b> – Representação esquemática da frequência.	9
<b>Figura I.2</b> – Exemplo de uma análise espectral ou análise por frequência.	9
<b>Figura I.3</b> – Representação esquemática da intensidade sonora.	10
<b>Figura I.4</b> – Anatomia do ouvido humano.	12
<b>Figura I.5</b> – Exemplo de um aparelho para medir o ruído: Dosímetro.	13
<b>Figura I.6</b> – Exemplo de um aparelho para medir o ruído: Sonómetro.	14
<b>Figura III.1</b> – Tampões moldáveis.	29
<b>Figura III.2</b> - Tampões pré-moldados.	29
<b>Figura III.3</b> – Tampão moldado individualmente.	30
<b>Figura III.4</b> – Tampões cm banda rígida.	30
<b>Figura III.5</b> – Tampões com banda flexível.	30
<b>Figura III.6</b> – Protetores auriculares passivos.	31
<b>Figura III.7</b> – Protetor auricular ativo.	32
<b>Figura III.8</b> – Protetor auricular de comunicação.	33
<b>Figura V.1</b> – Sonómetros utilizados nas medições.	54
<b>Figura V.2</b> – Localização dos pontos de medição da intensidade do ruído de fundo em meio industrial.	55
<b>Figura V.3</b> – Espectro do nível de pressão sonora, em terços de oitava, do ruído de fundo.	57
<b>Figura V.4</b> – Gerador de ruído WB 1314 da Bruel & Kjaer.	58
<b>Figura V.5</b> – Amplificador Inkel MA – 610.	58

<b>Figura V.6</b> – Representação espectral do ruído branco.	59
<b>Figura V.7</b> – Equipamento instalado para ajustar a intensidade sonora do ruído de fundo.	60
<b>Figura V.8</b> – Máquina de mercerizar: localização do sinal de alarme utilizado.	60
<b>Figura V.9</b> – Localização dos pontos de medição da intensidade do sinal de alarme em meio industrial.	61
<b>Figura V.10</b> – Espectro do nível de pressão sonora, em terços de oitava, do sinal de alarme.	63
<b>Figura V.11</b> – Coluna sem fios Jambone Jambox,	64
<b>Figura V.12</b> – Coluna sem fios Jambone Jambox suspensa no teto da cabine a audiométrica.	65
<b>Figura V.13</b> – Tampão auditivo E-A-R Ultrafit 3M.	65
<b>Figura V.14</b> – Protetor passivo E-A-R Muff LM-7.	66
<b>Figura V.15</b> – Protetor ativo Ceotronics.	67
<b>Figura V.16</b> – Comparação das curvas de atenuação dos três equipamentos de proteção individual.	68
<b>Figura V.17</b> – Colocação dos abafadores.	71
<b>Figura V.18</b> – Colocação dos tampões auditivos.	71
<b>Figura V.19</b> – Visualização do local de realização dos ensaios.	73
<b>Figura VI.1</b> – Distribuição da população por sexos.	77
<b>Figura VI.2</b> – Distribuição “normal” da idade da população.	77
<b>Figura VI.3</b> – Representação gráfica da percentagem de indivíduos que identificaram o sinal de alarme para os diferentes níveis de ruído de fundo.	81
<b>Figura VI.4</b> – Representação gráfica da percentagem de indivíduos que identificaram o sinal de alarme para os diferentes protetores auditivos.	83

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela III.1</b> – Desvantagens e vantagens dos tampões auditivos vs protetores auriculares.	34
<b>Tabela V.1</b> – Intensidade do ruído de fundo registado na empresa.	55
<b>Tabela V.2</b> – Níveis de pressão sonora, por terços de oitava, do ruído de fundo.	56
<b>Tabela V.3</b> – Intensidade do sinal de alarme.	61
<b>Tabela V.4</b> – Níveis de pressão sonora, por terços de oitava, do sinal de alarme.	62
<b>Tabela V.5</b> – Valores de atenuação do tampão auditivo E-A-R Ultrafit 3M.	66
<b>Tabela V.6</b> – Valores de atenuação do protetor passivo E-A-R Muff LM – 7.	67
<b>Tabela V.7</b> – Valores de atenuação do protetor ativo Ceotronics.	67
<b>Tabela V.8</b> – Ordem de utilização dos diferentes protetores na realização dos ensaios.	69
<b>Tabela VI.1</b> – Nomenclatura de registo das respostas.	78
<b>Tabela VI.2</b> – Dados obtidos: nível de redução do ruído de fundo na identificação do alarme.	79
<b>Tabela VI.3</b> – Percentagem de respostas (N=78) para cada protetor auditivo.	80
<b>Tabela VI.4</b> – Frequência de respostas (N=78) para cada protetor auditivo.	82



## **INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

Os elevados níveis de ruído ocupacional constituem um problema em todo o mundo. O reconhecimento que o ruído não é um simples incómodo mas sim um perigo grave para a saúde é encarado hoje em dia como uma questão de saúde pública cada vez mais importante (WHO, 2001).

Nos Estados Unidos, em 1990 estimava-se que cerca de 30 milhões de pessoas estavam expostas a um nível de ruído ocupacional acima de 85 dB(A) quando comparado com mais de 9 milhões de pessoas em 1981 (WHO, 2001).

Na Europa, em 2010 aproximadamente 30% dos trabalhadores estavam expostos a níveis de ruído excessivos durante, pelo menos, um quarto do tempo da sua jornada de trabalho (MacGoris, 2010) e que 7% dos trabalhadores europeus sofrem de perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) (Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho [AESST], 2005).

Num ambiente industrial existe na maioria das vezes, um número considerável de máquinas a funcionar simultaneamente produzindo deste modo elevados níveis de ruído. O ruído é, pois, um som indesejado e incómodo (T.L.C. 1999 citado por Arezes, 2002) que pode causar efeitos adversos para a saúde humana tanto a nível psicológico (Edworthy, 1997) como fisiológico (Nelson et al., 2005), assim como constituir um entrave às comunicações verbais e sonoras (Ganime et al., 2010; Suter, 1996a).

As perdas auditivas resultantes da exposição ao ruído ocupacional são pois o efeito mais grave para a saúde humana, sendo que para as reduzir se recorra ao uso frequente de protetores auditivos (Savell e Toothman, 1987; Bruhl et al., 1994, citados por Abel et al., 2002). No entanto, é necessário ter em consideração que a utilização destes equipamentos de proteção individual pode influenciar a capacidade para executar tarefas auditivas como por exemplo comunicar, detetar/discriminar e localizar sinais de alarme (Abel e Spencer, 1999). Também as características dos sinais de alarme e a atenção prestada são responsáveis pela sua percepção (Christian, 1999; Suter, 1996b).

Vários foram os estudos realizados com o intuito de estudar a influência da proteção auditiva na inteligibilidade da fala e na percepção dos sinais de alarme.

Fernandes (2003) liderou um estudo cujo objetivo foi avaliar a influência dos protetores auditivos na inteligibilidade da fala, neste caso da língua portuguesa. Também Hashimoto et al., (1996)

estudaram a influência dos protetores auditivos na percepção da fala na presença de ruído de fundo.

No que concerne aos sistemas de alerta ou emergência nas máquinas industriais, estes são considerados de extrema importância pois fornecem um aviso adequado e atempado de alguma situação que eventualmente esteja a acontecer. Porém, estes sinais normalmente emitem sons muito altos para que sejam rápida e facilmente perceptíveis no meio industrial (Lee e Kong, 2006). Estes autores realizaram um estudo cujo objetivo foi definir a melhor localização para os sinais de aviso e avaliar o efeito da proteção auditiva em ambientes extremamente ruidosos.

Com a realização deste trabalho pretende-se estudar em que medida a proteção individual auditiva influencia a percepção de um sinal de alarme que atua em meio industrial e na presença de ruído de fundo. Assim:

- Numa primeira fase, pretende-se avaliar individualmente a influência de cada protetor auditivo na percepção do sinal de alarme que atua na presença de ruído de fundo, ou seja, avaliar que percentagem de indivíduos identificou o sinal de alarme para os diferentes níveis de ruído de fundo usando diferentes protetores auditivos;
- De seguida, analisar as diferenças entre cada tipo de protetor auditivo selecionado (tampão auditivo, abafador passivo e abafador ativo) no que diz respeito à sua influência na percepção do sinal de alarme atuando na presença de ruído de fundo. Neste caso pretendeu-se avaliar qual ou quais os tipos de protetores auditivos mais adequados para serem usados nas condições de teste especificadas.

A tese de mestrado apresentada está dividida em duas partes. A primeira parte é composta por uma revisão bibliográfica sobre a temática em questão e a segunda expõe o desenvolvimento do trabalho realizado principalmente a metodologia adotada, os resultados e discussão. Por fim, são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste estudo, bem como algumas propostas para desenvolvimentos futuros.



**PARTE I**

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---



**CAPÍTULO I**

**O RUÍDO E A AUDIÇÃO**

---



## 1.1 O RUÍDO

Atualmente, o mundo em que vivemos é constituído por muitos e variados ruídos. Embora não sejam diretamente visíveis, os sons inconvenientes estão presentes diariamente na vida de cada indivíduo, quer no ambiente de trabalho, na rua ou até mesmo em casa.

O ruído e o som não podem ser considerados sinónimos: o ruído é um tipo de som mas o som não é obrigatoriamente um ruído. O som, sob o ponto de vista físico, é uma variação da pressão atmosférica dentro dos limites de intensidade e gama de frequências para as quais o ouvido humano tem sensibilidade (Didoné, 1999, citado por Zannin, 2005).

O som é uma forma de energia e como tal obedece às leis fundamentais da física. Como conceito, Russo e Santos, 1999 (citados por Zannin, 2005) definem o som como *“uma modificação de pressão ocorrendo em meios elásticos e propagando-se em forma de ondas mecânicas, longitudinais e tridimensionais. É resultante de movimentos ordenados e vibratórios de partículas materiais que geram compressões e rarefações sucessivas, num meio que pode ser gasoso, líquido e sólido, sendo um movimento elástico”*. Quando a intensidade ou frequência destas vibrações, transmitidas na forma de ondas agride e não é conveniente para o sistema auditivo humano, o som passa a designar-se por ruído.

A Convenção 148 da Conferência Internacional do Trabalho define o ruído como sendo um som capaz de provocar perdas auditivas ou resultar em danos para a saúde (Zannin, 2005).

Segundo Mohammadi (2008) o ruído é um som indesejado que não pode ser ignorado e, de acordo com este autor, existem estudos médicos que demonstram que o ruído pode causar problemas psicológicos e também danos ou perdas auditivas. Estas perturbações podem variar mais ou menos de acordo com a tolerância de cada indivíduo.

Além das implicações atrás referidas, os ambientes ruidosos podem dificultar a audição e comunicação entre as pessoas aumentando desta forma a probabilidade de acidentes de trabalho e ainda diminuir o desempenho e produtividade no trabalho (AESST, 2005; Suter, 1996a).

### **1.1.1 RÚIDO INDUSTRIAL**

Santos e Ferreira (2008) referem que a partir Revolução Industrial os lugares que eram ocupados apenas pelo Homem nas empresas começaram a ser substituídos por máquinas que ao longo dos anos têm sido alvo de constantes progressos tecnológicos e ao mesmo tempo responsáveis pelo agravamento do problema do ruído. Este tipo de ruído pode conter altas ou baixas frequências, componentes tonais e ser impulsivo.

Os equipamentos que mais contribuem para a produção de ruído industrial são componentes ou gases que se movimentam a uma grande velocidade como ventiladores e válvulas de alívio de pressão de vapor ou ainda por operações mecânicas como rebitar e frear (Bergund et al., 1999, citados por Zannin, 2005).

### **1.1.2 CARACTERÍSTICAS DO RÚIDO**

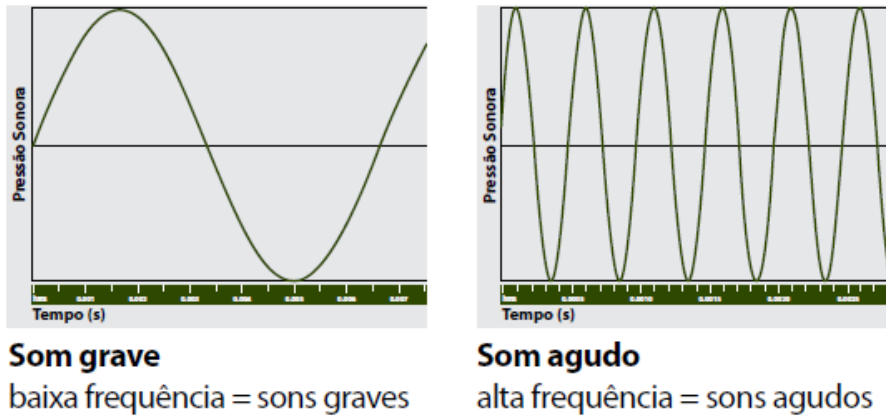
Tal como atrás já foi referido, o som é uma onda mecânica que comprime e descomprime as moléculas do meio, criando alterações periódicas de compressão e rarefação. O fenómeno ondulatório propaga-se num único plano e apresenta uma frequência (número de oscilações na unidade de tempo), amplitude (intensidade) e duração. A seguir é feita uma breve explicação de cada uma destas características.

#### ***1.1.2.1 A Frequência***

De acordo com Miguel (2010), a frequência define-se como sendo o número de flutuações ou períodos por segundo e cuja unidade de medida é o Hertz (Hz).

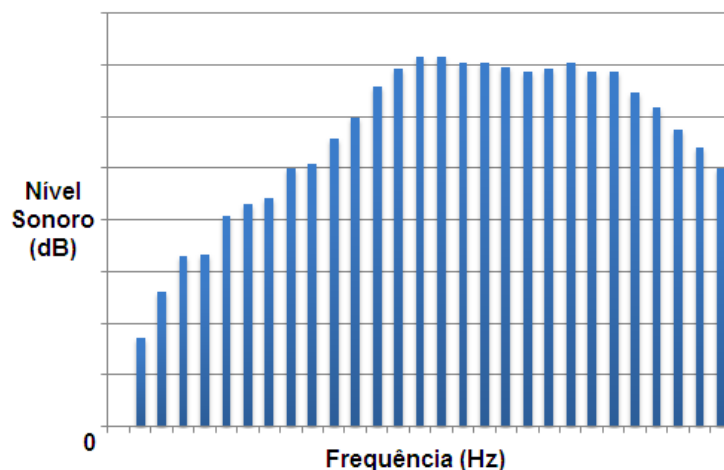
Um tom puro é um som com uma única frequência.

Na figura I.1 encontram-se esquematizados os diagramas que representam as baixas frequências (sons graves) e as altas frequências (sons agudos) (MSA - The Safety Company, 2011). Para um som grave, o número de oscilações de pressão sonora por segundo é inferior ao de um som agudo ou seja, nas baixas frequências as partículas de ar vibram mais lentamente que as partículas de ar nas altas frequências.



**Figura I.1** – Representação esquemática da frequência (adaptado de MSA - The Safety Company, 2011).

No entanto, os ruídos industriais são ruídos complexos pelo que, para ter uma ideia da sua composição, é necessário determinar o nível sonoro para cada frequência. Chama-se a este procedimento análise espectral ou análise por frequência e costuma ser representado graficamente num sistema de eixos onde as frequências se situam no eixo das abcissas e os níveis sonoros no eixo das ordenadas (Miguel, 2010), tal como se pode verificar no exemplo da figura I.2:

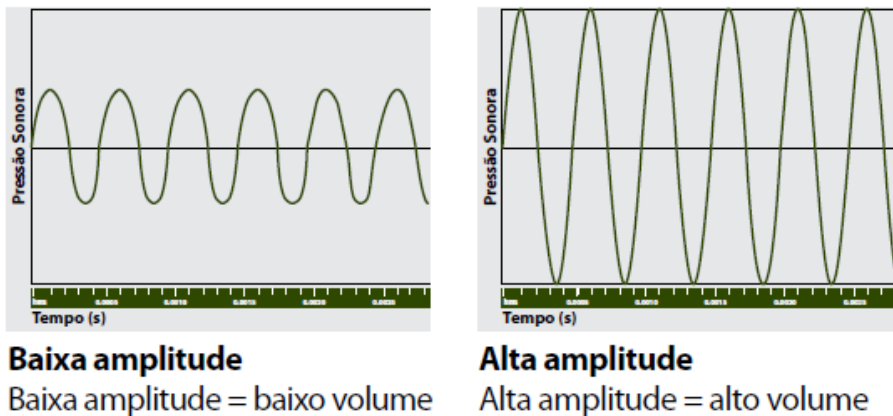


**Figura I.2** – Exemplo de uma análise espectral ou análise por frequência.

### 1.1.2.2 O Nível Sonoro ou Intensidade (Amplitude)

Outra grandeza que caracteriza o ruído é o nível sonoro e que é definido como sendo a intensidade das vibrações sonoras ou das variações de pressão que lhe estão associadas e cuja medição é expressa em decibéis (dB). Segundo Miguel (2010), o decibel é, por definição, “o logaritmo da razão entre o valor medido e um valor de referência padronizado e corresponde praticamente a mais pequena variação da pressão sonora que um ouvido humano normal pode distinguir em condições normais de audição”.

Na figura I.3 estão representadas as baixas amplitudes (baixo volume) e as altas amplitudes (alto volume) para uma onda de igual frequência (MSA - The Safety Company, 2011). Como se pode verificar, para um alto volume, a intensidade da pressão sonora é superior ao baixo volume.



**Figura I.3** – Representação esquemática da intensidade sonora (adaptado de MSA - The Safety Company, 2011).

### 1.1.2.3 A Duração

Por fim, a unidade temporal usada para medir a duração do som é o segundo (s). Os sons podem ser classificados como sendo de curta ou longa (ampla) duração. Os sons que duram menos de 0,1 s são os de curta duração e aqueles que duram mais do que 1 s são os de longa duração (Guyton, 1988, citado por Barbosa, 2009).



## **1.2 O MECANISMO DA AUDIÇÃO**

### **1.2.1 ANATOMIA E FISIOLOGIA DA AUDIÇÃO**

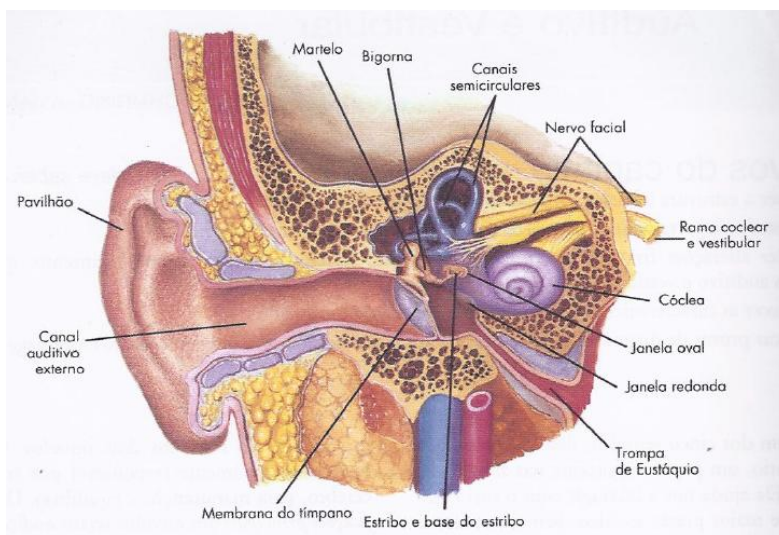
A audição é um dos cinco sentidos do corpo humano que, depois da visão, é o sentido que fornece ao cérebro mais informações acerca do mundo exterior. Os ouvidos são dois órgãos sensoriais que nos permitem ter audição binauricular, e que nos ajuda a saber o sentido do som e a manter o equilíbrio. Por isso estão situados num ponto estratégico, um de cada lado da cabeça sensivelmente ao nível dos olhos.

O ouvido divide-se anatómica e funcionalmente em três partes, segundo as suas localizações e funções desempenhadas (figura 1.4):

- Ouvido externo: Compreende o pavilhão ou aurícula, o canal auditivo externo, e contem ainda um canal condutor do som que termina na membrana do tímpano. O pavilhão auricular consiste apenas em cartilagem revestida de pele que está ligada à cabeça. O ouvido externo tem como principal função captar as ondas sonoras.

- Ouvido médio: A transição entre o ouvido externo e o ouvido médio é feita pelo tímpano. O tímpano consegue aumentar a sua massa e esticar ou vibrar para receber as frequências mais graves. Ele vibra de forma variável e estas variações de pressão fazem com que a energia mecânica se mova pelos ossos que constituem o ouvido médio. O ouvido médio é então constituído pelo martelo, bigorna e o estribo.

- Ouvido interno: É constituído pela cóclea ou caracol e pelo vestibulo, e tem como função principal transformar a energia mecânica em impulsos elétricos que são transmitidos ao cérebro através do nervo auditivo. As células do ouvido interno sofrem alterações quando estão expostas a elevados níveis de ruído provocando deste modo perdas auditivas.



**Figura I.4** – Anatomia do ouvido humano (reproduzido de Merek, 2003).

Devido à forma do ouvido externo bem como devido a outros fatores, um trabalhador exposto a 90 dB na gama de frequências dos 1000 a 5000 Hz encontra-se em maior risco do que outro exposto aos mesmos 90 dB mas noutra faixa de frequências uma vez que a sensibilidade do ouvido humano é maior na gama de frequências dos 1000 a 5000 Hz (Maia, 2008).

Também Zannin (2005) diz que a sensibilidade humana ao ruído não é uniforme em toda a gama de frequências sendo maior entre 2000 Hz e 5000 Hz. A sensibilidade do ouvido humano varia com a idade sendo que à medida que as pessoas envelhecem a máxima frequência audível diminui.

### **1.2.2 LIMITES E TOLERÂNCIA DO RUÍDO**

A agressão causada pelo ruído ao sistema auditivo do ser humano depende principalmente das grandezas atrás enunciadas: a intensidade e frequência da onda sonora e o período ao qual o indivíduo está exposto. É claro que os indivíduos têm uma sensibilidade auditiva diferente entre si e que pode variar com a idade, sexo e exposições anteriores (Araújo, 2002; MSA - The Safety Company, 2011).

A gama audível compreende os sons cujas frequências vão desde 20 Hz a 20000 Hz e está dividida em dez grupos de frequência designados por oitavas. Os sons que são produzidos abaixo dos 20 Hz são designados por infra - sons e os que são produzidos acima dos 20000 Hz denominam-se por ultra - sons. Por isso é necessário ter em consideração que na determinação

da audibilidade humana se deva tomar em linha de conta a amplitude da onda sonora (Creppe e Porto, s.d.).

Dentro da faixa audível, verifica-se que o ouvido humano percebe os estímulos acústicos de uma maneira não linear. Experiências demonstram que o ouvido humano percebe o som como uma sensação que varia com o logaritmo do estímulo que a produziu (Miguel, 2010; Fernandes, 2000, citado por Creppe e Porto, s.d.). De modo a ter em consideração o facto de o ouvido humano possuir sensibilidade diferente a frequências diferentes, a intensidade do ruído é normalmente medida em decibéis ponderados A [dB(A)] (AESST, 2005).

### 1.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

O ruído apresenta características diversas e existe um grande número de técnicas para as medir. De acordo com (AESST, 2005) as medições do ruído na indústria são realizadas com o intuito de avaliar se os trabalhadores expostos correm o risco de sofrerem danos auditivos e simultaneamente obter dados que permitam adotar medidas no que diz respeito à redução do ruído.

Estas medições são realizadas de acordo com as normas ISO<sup>1</sup> e IEC<sup>2</sup> onde estão indicados os equipamentos e as metodologias a utilizar. Os aparelhos normalmente usados são os dosímetros (figura I.5) e os sonómetros (figura I.6).



**Figura I.5** – Exemplo de um aparelho para medir o ruído: Dosímetro.

---

<sup>1</sup>International Standards Organisation

<sup>2</sup>International Electrotechnical Commission



**Figura I.6** – Exemplo de um aparelho para medir o ruído: Sonómetro.

Zannin (2005) refere que os responsáveis pela medição do ruído ocupacional devem usar escalas para fazer a correção do ruído real para o ruído percebido pelo ouvido humano. Para tal existem vários tipos de filtros normalizados (A, B, C e D), sendo que o mais importante a nível de ruído industrial é o filtro de ponderação A, uma vez que traduz aproximadamente a resposta do ouvido humano. Os valores das medições feitas através do filtro A são seguidos pela designação decibel A e representados como dB(A).

**CAPÍTULO II**

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO OCUPACIONAL  
SOBRE A SAÚDE HUMANA E LEGISLAÇÃO  
APLICÁVEL**

---



## **2.1 INTRODUÇÃO**

O ruído é provavelmente o problema mais comum no meio industrial onde os elevados níveis produzidos são particularmente excessivos nas indústrias de metalomecânica, alimentar, têxtil, madeira e outras (Suter, 1996a). Uma excessiva e prolongada exposição ao ruído pode provocar efeitos adversos na saúde humana tais como elevada pressão arterial, zumbido e perda auditiva, sendo que aquele que produz efeitos mais graves para a saúde é a perda auditiva (Nelson et al., 2005). O ruído pode também afetar a capacidade para realizar tarefas que envolvam a memória (Edworthy, 1997). A seguir apresenta-se uma breve explicação de cada um deles.

## **2.2 EFEITOS FISIOLÓGICOS**

### **2.2.1 PERDA AUDITIVA INDUZIDA PELO RUÍDO (PAIR) E ZUMBIDO**

Segundo Araújo (2002) estudos realizados por Mocelin em 1951 mostraram que um grupo de operários apresentava surdez provocada pelo ambiente ruidoso e que já nessa altura se recomendava o uso de proteção auditiva durante o trabalho. Ainda de acordo com o mesmo autor, relatos efetuados por Lim e Dunn em 1979 demonstraram que os quatro possíveis mecanismos de lesões do órgão de Corti ocorrem na cóclea, na área responsável pelo som na gama de frequências de 3000 Hz a 6000 Hz.

A exposição ao ruído pode provocar deterioração auditiva lenta, progressiva e irreversível. Os trabalhadores podem queixar-se de zumbidos, fadiga, queda no rendimento laboral, alteração neurovegetativa e stress (Ibanez e Seligan, 1993, citados por Araújo, 2002).

Os elevados níveis de ruído tem o poder de provocar danos significativos nas vias auditivas, desde a membrana timpânica até às regiões do sistema nervoso central. No órgão corti ocorrem as principais alterações responsáveis pela perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR).

Araújo (2002) e Maia (2008) dizem que a surdez é função da frequência e da intensidade do ruído, sendo mais evidente para sons puros e para frequências elevadas.

O primeiro sintoma de perda auditiva começa pela incapacidade em ouvir os sons agudos. Se nada for feito para ajudar o trabalhador e este continuar exposto a elevados níveis de ruído ocupacional então a audição continuará a deteriorar-se a ponto de o indivíduo perder a capacidade de ouvir os sons graves. Este problema normalmente atinge os dois ouvidos. A perda

de audição pode também acontecer devido a uma breve exposição a ruídos impulsivos como por exemplo o disparo de uma arma de fogo ou ao impacto de um martelo pneumático (AESST, 2005).

Também a exposição prolongada ao ruído aumenta o risco de zumbido pelo que, este pode ser o primeiro sinal de que a audição está a ser afetada.

## **2.2.2 EFEITOS CARDIOVASCULARES**

Edworthy (1997) refere que existe uma relação evidente entre os efeitos cardiovasculares e a exposição ao ruído quando não são usados protectores auditivos.

Zhao et al. (1991) citados por Edworthy (1997) realizaram um estudo com um grupo de mulheres que estiveram ocupacionalmente expostas a níveis de ruído que variavam entre 75 dB(A) e 104 dB(A), e que não usavam qualquer tipo de protecção auditiva, tendo concluído haver uma forte probabilidade dessas pessoas sofrerem de hipertensão e que, para um aumento dos níveis de ruído em 5 dB(A), a pressão arterial subia 1,2 Hg/mm.

## **2.3 EFEITOS PSICOLÓGICOS**

Em alguns ambientes ocupacionais nem sempre a exposição ao ruído é suficientemente alta para provocar perdas auditivas mas pode, por outro lado, afetar os trabalhadores em exigências cognitivas tais como a concentração, a velocidade de reação e habilidades de memória.

Um nível de ruído que não cause perda auditiva pode afetar o sono e o descanso e ainda interferir com tarefas mentais que exijam um elevado grau de atenção e concentração. Alguns estudos realizados demonstram que o ruído pode influenciar negativamente a capacidade para realizar uma tarefa que exija atenção e interferir no desempenho de tarefas de pesquisa e de memória (Barbosa, 2009).

Segundo a AESST (2005) o ruído no ambiente de trabalho pode provocar stress nos trabalhadores mesmo a níveis que não exijam medidas para prevenir as perdas auditivas. Podem ser apontados como exemplos o toque frequente do telefone ou as vibrações constantes de um equipamento de ar condicionado ou de um computador.



## 2.4 OUTROS EFEITOS DO RUÍDO

Além dos efeitos atrás mencionados, o ruído também pode ser responsável pelo desconforto e mau humor dos indivíduos. Floru et al. (1994), citados por Maia (2008), dizem que quando os sujeitos estão expostos ao ruído durante muito tempo têm tendência para se tornarem mais agressivos e menos solidários. Também Suter (1996a) e Ganime et al.(2010) referem que alguns estudos realizados mostram que os índices de ruído moderado podem provocar um aumento de ansiedade e de comportamentos anti-sociais.

Segundo Edworthy (1997) e Miguel (2010) uma exposição excessiva ao ruído pode afetar a qualidade do produto e a produtividade. Suter (1996a) conclui que elevados níveis de ruído podem afetar negativamente o desempenho de tarefas simples e rotineiras. O ruído intermitente é mais perturbador que o ruído contínuo especialmente quando o aumento repentino do ruído é imprevisível.

Suter (1996a) refere que o ruído pode mascarar os sinais de alerta dos equipamentos e máquinas podendo assim contribuir para que haja acidentes de trabalho. Também AESST (2005) alerta para este problema assim como para a dificuldade em ouvir e compreender as instruções e sinais por parte dos trabalhadores e ainda para o facto de o ruído poder distrair os trabalhadores em tarefas que requeiram atenção, como por exemplo, os condutores.

## 2.5 ENQUADRAMENTO LEGAL

O Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de setembro transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2003/10/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de fevereiro, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos derivados do ruído. Este Decreto-Lei define, entre outras coisas, os seguintes conceitos:

### **"EXPOSIÇÃO PESSOAL DIÁRIA AO RUÍDO", $L_{EX,78H}$**

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 seguinte expressão:

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

Em que:

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

Sendo:

- $T_e$  é a duração diária da exposição pessoal de um trabalhador ao ruído durante o trabalho;
- $T_0$  é a duração de referência de oito horas (28 800 segundos);
- $p_A^{(t)}$  é a pressão sonora instantânea ponderada A, expressa em Pascal (Pa), a que está exposto o trabalhador;
- $p_0$  é a pressão de referência  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  pascal

### "EXPOSIÇÃO PESSOAL DIÁRIA EFETIVA", $L_{EX,8h,EFET}$

A exposição pessoal diária ao ruído tendo em conta a atenuação proporcionada pelos protetores auditivos, expressa em dB(A), calculada pela expressão:

$$L_{EX,8h,efec} = 10 \log\left[\left(\frac{1}{8}\right) \sum_1^n T_k 10^{(0,1 L_{Aeq,TK,efet})}\right]$$

Em que:

- $T_k$  é o tempo de exposição ao ruído k;
- $L_{Aeq,TK,efet}$  é o nível sonoro contínuo equivalente a que fica exposto o trabalhador equipado com protetores auditivos

### "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:

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

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 o trabalhador.

### **"NÍVEL DE PRESSÃO SONORA DE PICO", $L_{Cpico}$**

O valor máximo de pressão sonora instantânea, ponderado C, expresso em dB(C), dado pela expressão:

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

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

O Decreto-Lei nº 182/2006, de 6 de setembro define ainda os valores limite de exposição como sendo o nível de exposição diária ou semanal ou o nível de pressão sonora de pico que não deve ser ultrapassado. Define também os valores de ação inferior e superior como sendo os níveis de exposição diária ou semanal ou os níveis de pressão sonora de pico que, em caso de ultrapassagem, implicam a tomada de medidas preventivas adequadas à redução do risco para a segurança dos trabalhadores.

Os valores limite de exposição e os valores de ação superior e inferior, no que se refere à exposição diária ou semanal de um trabalhador e o nível de pressão sonora de pico estabelecidos pelo neste Decreto-Lei são os seguintes:

- Valores limites de exposição:  $L_{ex,8h} = 87$  dB(A) e o  $L_{Cpico} = 140$  dB(C)
- Valores de ação superiores:  $L_{ex,8h} = 85$  dB(A) e o  $L_{Cpico} = 137$  dB(C)
- Valores de ação inferiores:  $L_{ex,8h} = 80$  dB(A) e o  $L_{Cpico} = 135$  dB(C)

## **2.6 MEDIDAS DE CONTROLO E PREVENÇÃO**

Como atrás foi referido a atual legislação estabelece um valor limite de exposição assim como patamares a partir dos quais as ações de prevenção e controlo da exposição ao ruído devem ser executadas. Quando os níveis de exposição ao ruído estiverem acima do valor ação inferior é necessário proceder-se ao seu controlo e tomar medidas práticas para o reduzir.

De acordo com o Decreto-Lei n° 182/2006 de 6 de setembro, o empregador deve garantir que a exposição dos trabalhadores ao ruído seja reduzida para um nível o mais baixo possível, não devendo ultrapassar o valor limite de exposição. No caso em que o valor limite de exposição seja excedido, o empregador deverá adotar medidas tendentes a prevenir ou controlar os riscos para a saúde dos trabalhadores de acordo com a hierarquia seguinte:

- Medidas construtivas ou de engenharia
- Medidas organizacionais
- Medidas de proteção individual

As medidas construtivas ou de engenharia são as mais eficazes pois eliminam o ruído na fonte produtora ou atuam nas vias de propagação. Alguns exemplos que podem ser citados são a utilização de chumaceiras, engrenagens e estruturas com menor emissão de ruído assim como silenciadores na saída de ar ou gases, diminuição da velocidade de rotação dos ventiladores e a promoção regular da manutenção dos equipamentos, entre outras.

No caso em que o ruído não possa ser convenientemente controlado na fonte, podem ser adoptadas medidas organizacionais com o objetivo de diminuir a exposição dos trabalhadores ao ruído através da diminuição do tempo de exposição. Algumas destas medidas passam pela rotatividade dos trabalhadores ou pela realização de determinadas tarefas que produzam elevados níveis de ruído quando há menos trabalhadores expostos. No entanto, as medidas organizacionais revelam-se como uma alternativa pouco popular e mais cara uma vez que reduzem a produtividade. Suter (1986), citada por Maia (2008), refere que este tipo de medidas não elimina o problema na totalidade dado que em vez de ter um ou dois trabalhadores com uma elevada perda auditiva poder-se-á ter vários trabalhadores com uma leve ou moderada perda auditiva.

Quando as medidas descritas anteriormente não forem técnica ou economicamente viáveis e os trabalhadores continuarem expostos a níveis de ruído acima do valor de ação superior (85 dB(A))

então deve-se recorrer ao uso de protetores auditivos. Se por ventura, os trabalhadores estiverem expostos a níveis de ruído acima do valor de ação inferior (80 dB(A)) também neste caso se devem colocar à disposição dos trabalhadores os protetores auditivos.

A temática relacionada com a proteção individual auditiva será mais amplamente explorada no capítulo seguinte.



## **CAPÍTULO III**

# **PROTEÇÃO INDIVIDUAL AUDITIVA**

---





### **3.1 INTRODUÇÃO**

Os protetores auditivos são produtos de segurança pessoal e que são usados para reduzir os efeitos negativos do ruído sobre o sistema auditivo humano. A proteção auditiva deve ser encarada como a última solução a adotar, isto é, os protetores auditivos só devem ser usados quando não é possível aplicar medidas de engenharia ou remover as pessoas do ambiente ruidoso (Berger et al., 2003; Hashimoto et al., 1996). No entanto, o seu uso constitui uma solução que, além de ser relativamente económica é facilmente implementada e com resultados efetivos (Bruhl et al., 1994; Savell e Toothman, 1987, citados por Abel et al., 2002).

A escolha dos protetores auditivos deve assentar em critérios rigorosos (Arezes e Miguel, 2002) pois devem ser realizadas análises do ambiente e das condições de trabalho uma vez que existem no mercado diversos tipos de protetores com diferentes configurações e materiais. Cada tipo de protetor aplica-se em condições específicas de ambiente onde devem ser avaliadas a intensidade e o espectro do ruído.

O desenvolvimento da proteção auditiva aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial como resposta à necessidade de reduzir as elevadas perdas auditivas causadas pelas operações militares (Berger et al., 2003). A utilização crescente dos protetores auditivos conduziu ao seu desenvolvimento pelo que existe no mercado uma grande variedade destes equipamentos.

### **3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROTETORES AUDITIVOS**

De acordo com Berger et al. (2003) e Zannin (2005) a classificação dos protetores auditivos pode-se fazer do seguinte modo:

#### Protetores Passivos

- I. Tampões auditivos
  - Tampões moldáveis
  - Tampões auditivos pré-moldados
  - Tampões auditivos moldados individualmente
  - Tampões ligados por banda

- II. Protetores auriculares ou abafadores

#### Protetores Ativos

- I. Protetores de Redução Ativa do Ruído (RAR)
- II. Protetores de comunicação

A seguir apresenta-se uma breve explicação de cada tipo de protetor auditivo.

### **3.2.1 PROTETORES PASSIVOS**

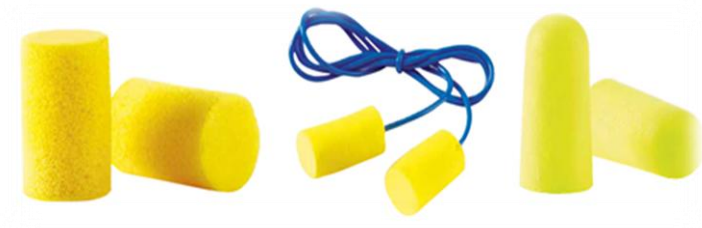
Um protetor auditivo passivo é um elemento mecânico de resistência acústica que atua como filtro produzindo diferentes atenuações para cada frequência (Smeathan e Wheeler, 1998 citados por Zannin, 2005). A atenuação ocorrida é designada de passiva pois acontece sem recorrer ao uso de circuitos eletrônicos fornecendo uma redução do ruído entre o nível de pressão sonora do ambiente e o nível do som após o uso do protetor.

#### ***I. Tampões Auditivos***

Os tampões auditivos são colocados dentro ou à entrada do canal auditivo de modo a bloquear a entrada de ruído.

#### Tampões Moldáveis

Estes tampões são feitos de espuma de poliuretano (figura III.1). Este material é compressível, pode ser moldado pelo utilizador e quando introduzidos no canal auditivo, o tampão “dilata” e adapta-se ao mesmo. Podem ser descartáveis e reutilizáveis.



**Figura III.1** - Tampões moldáveis (adaptado de 3M, 2009).

#### Tampões Auditivos Pré-Moldados

Os tampões auditivos pré-moldados são feitos de materiais flexíveis tais como o silicone e apresentam falanges circulares de diâmetro crescente para que possam ser usados por todos os utilizadores (figura III.2). Estes tampões têm como principal característica o facto de já terem a forma final de utilização não sendo pois necessário proceder à sua pré-moldagem. Normalmente estão disponíveis em vários tamanhos para que possam adaptar-se aos diferentes canais auditivos.



**Figura III.2** - Tampões pré-moldados (adaptado de 3M, 2009)

#### Tampões Auditivos Moldados Individualmente

Estes tampões são fabricados em silicone ou acrílico e a sua forma é moldada de acordo com o “feito” do canal auditivo do utilizador, tal como representado na figura III.3:



**Figura III.3** - Tampão moldado individualmente (reproduzido de Arezes, 2002).

#### Tampões Auditivos Ligados por Banda

Estes tampões são fabricados em silicone ou espuma de poliuretano e estão ligados por uma banda, que pode ser rígida (figura III.4) ou flexível (figura III.5). Normalmente são usados em situações que requerem a introdução ou remoção rápida dos mesmos.



**Figura III.4** - Tampões com banda rígida (adaptado de 3M, 2009).



**Figura III.5** - Tampões com banda flexível (adaptado de 3M, 2009).

## **II. Protetores Auriculares ou Abafadores**

Os protetores auriculares ou abafadores são constituídos por duas calotes de material plástico, com bordas almofadadas em espuma, revestidas com capa de PVC e um arco tensor de alta resistência, tal como mostra a figura III.6.

Estes protetores não dispõem de qualquer equipamento eletrónico que regule a atenuação em função da frequência ou do nível de pressão sonora, sendo a atenuação conferida de forma totalmente mecânica (Maia, 2008).

A vedação que ocorre ao redor das orelhas e a atenuação obtida está relacionada, em parte, com a pressão exercida sobre os dois lados da cabeça (Gerges, 2003 citado por Zannin, 2005).

Os abafadores são indicados para trabalhadores que estão expostos a ruído intermitente, isto é, para pessoas que circulam alternadamente por zonas ruidosas e silenciosas pois são muito fáceis de colocar e retirar (Zannin, 2005).

Berger (2001) citado por Zannin (2005), refere que para 2000 Hz os valores de atenuação dos protetores auditivos aproximam-se dos valores limites impostos pela condução óssea, que é cerca de 40 dB, diminuindo 9 dB por oitava, desde os 1000 Hz a 250 Hz e aproximadamente 35 dB para as frequências acima dos 2000 Hz.

Para trabalhadores que usem óculos, os abafadores pressionam as hastes dos óculos contra a cabeça e diminuem a vedação da almofada ao redor da orelha resultando num abaixamento da atenuação de 3 a 7 dB (Zannin, 2005).



**Figura III.6** - Protetores auriculares passivos (adaptado de 3M, 2009).

### **3.2.2 PROTETORES ATIVOS**

Os protetores ativos possuem componentes eletrônicos na sua construção o que permite uma atenuação dependente do nível de pressão sonora. Como têm circuitos eletrônicos podem ser projetados para situações específicas de trabalho, como por exemplo aqueles casos em que há necessidade de comunicar e também em situações de níveis de ruído muito elevado no trânsito. Os dispositivos eletrônicos presentes nestes protetores auditivos não são lineares e possuem sistemas de filtros que garantem menor atenuação na gama de frequências inferior a 2000 Hz (Riffel, 2001 citado por Zannin, 2005).

#### ***I. Protetores de Redução Ativa do Ruído (RAR)***

Estes protetores, cujo aspeto se assemelha ao de um abafador (figura III.7), possuem um circuito eletrônico, composto de por um microfone, um sistema de processamento de sinais e um mini alto-falante que geram um campo sonoro com fase invertida dentro da concha do protetor (Francisco, 2001 citado por Zannin, 2005).

Estes protetores têm uma utilização limitada em ambientes agressivos (com temperaturas elevadas, humidade e poeiras têm uma fiabilidade reduzida) para além de apresentarem um custo elevado (Abelenda, 2006).



**Figura III.7** - Protetor auricular ativo (reproduzido de Arezes, 2002).

Os “protetores com restauração de sinal” são não-lineares e possuem níveis de atenuação adequados a situações especiais como por exemplo na modalidade “tiro ao alvo”. Normalmente a intensidade de ruído ambiente varia em torno dos 60 dB(A) e ao disparar a arma, o nível de ruído pode atingir os 160 dB(A). Esta atividade requer o uso de um protetor para possibilitar a comunicação oral e que o mesmo tempo forneça a atenuação necessária quando há um ruído impulsivo. Estes protetores possuem dispositivos para realizar a amplificação do sinal. A título de exemplo, se o nível de ruído estiver fixado em 85 dB(A) e o sinal exterior for menor, o nível de ruído é amplificado gradualmente até atingir os 85 dB(A), se pelo contrário, o ruído externo for superior a 85 dB(A), a amplificação diminui até ao valor fixado de 85 dB(A) (Didoné, 1999 citado por Zannin, 2005).

## ***II. Protetores Auriculares de Comunicação***

Estes protetores ativos possuem circuitos eletrônicos para emitir música ou mensagens de comunicação (figura III.8). Têm microfones de recepção e emissão de som, permitindo assim que os utilizadores comuniquem entre si. Estes equipamentos são muito utilizados na aviação.



**Figura III.8** - Protetor auricular de comunicação (reproduzido de 3M, s.d.).

Na tabela III.1 encontram-se descritas algumas das desvantagens e as vantagens dos tampões auditivos comparativamente com os abafadores:

**Tabela III.1 – Desvantagens e vantagens dos tampões auditivos vs protetores auriculares**

(adaptado de Abelenda, 2006).

	<b>Tampões Auditivos</b>	<b>Protetores Auriculares</b>
<b>D E S V A N T A G E N S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Necessitam de mais tempo para serem colocados e removidos do ouvido;</li> <li>✓ Podem provocar irritações do canal auditivo;</li> <li>✓ Exigem bons hábitos de higiene para que não sejam introduzidas sujidades e poeiras no canal auditivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Apresentam incompatibilidade com outros equipamentos de proteção individual;</li> <li>✓ Mais desconfortáveis em ambientes quentes e húmidos e de difícil utilização em espaços confinados;</li> <li>✓ Mais pesados e mais incómodos de transportar.</li> </ul>
<b>V A N T A G E N S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pequenos e fáceis de transportar;</li> <li>✓ Mais confortáveis para usos prolongados em ambientes quentes e húmidos;</li> <li>✓ Convenientes para usar em zonas confinadas e também para se utilizarem em simultâneo com outros equipamentos de proteção individual;</li> <li>✓ Apresentam uma melhor performance nas baixas e médias frequências.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menor variação da atenuação conferida de utilizador para utilizador;</li> <li>✓ Um tamanho serve à maioria dos utilizadores;</li> <li>✓ Apresentam uma menor probabilidade em provocar infeções do foro otorrinolaringologia;</li> <li>✓ Possuem uma melhor performance nas altas frequências.</li> </ul>



### 3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO DA ATENUAÇÃO DOS PROTETORES AUDITIVOS

A atenuação dos protetores auditivos deve ser levada em conta na determinação da exposição efetiva do trabalhador quando forem aplicados os valores limites de exposição. Os efeitos resultantes da utilização de protetores auditivos não são tidos em consideração na determinação da exposição do trabalhador ao ruído quando aplicados os valores de ação.

De acordo com a normalização aplicável, a atenuação oferecida por um protetor auditivo pode ser determinada por três métodos diferentes, nomeadamente:

- Método de Banda de Oitava
- Método HML
- Método SNR

A seguir apresenta-se uma breve descrição de cada um dos métodos enumerados.

#### 3.3.1 MÉTODO DE BANDA DE OITAVA

O Método de Banda de Oitava é também conhecido por “NIOSH Method #1” ou “Long Method” (Berger et al., 2003 e Suter, 1996b). Este método tem o seguinte procedimento:

- Primeiramente medir o nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado A, para cada banda de oitava (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz) em dB(A) a que o trabalhador está exposto;
- Para cada banda de oitava calcular os níveis globais ( $L_{63}$ ,  $L_{125}$ ,  $L_{250}$ ,  $L_{500}$ ,  $L_{1000}$ ,  $L_{2000}$ ,  $L_{4000}$  e  $L_{8000}$ ) de acordo com a equação:

$$L_n = L_{Aeq,f,Tk} - M_f + \alpha S_f$$

Em que:

$T_k$  – Ruído a que o trabalhador está exposto durante  $T_k$  horas por dia;

$M_f$  – É o valor médio de atenuação dos protetores;

$S_f$  – É o desvio padrão da atenuação dos protetores auditivos.

$\alpha$  – É o valor que se quer para o percentil de proteção. Em Portugal, este valor é

de 2, o que significa um valor de proteção de cerca de 97%.

Os valores  $M_i$  e  $S_i$  são fornecidos pelo fabricante dos protetores auditivos.

- De seguida calcular o nível contínuo equivalente,  $L_{Aeq,TK,efet}$  com os valores globais determinados anteriormente usando a seguinte expressão:

$$L_{Aeq,TK,efet} = 10 \log \sum_n 10^{0,1L_n}$$

- Por fim calcular a exposição pessoal diária efetiva,  $L_{EX,8h,efet}$ , em dB(A), de cada trabalhador que use protetores auditivos utilizando a equação abaixo:

$$L_{EX,8h,efet} = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{8} \right) \sum_1^n T_k 10^{(0,1L_{Aeq,TK,efet})} \right]$$

Este método é considerado como um método mais fiável e rigoroso para determinar a atenuação de um protetor auditivo sendo que não apresenta uma visualização imediata da atenuação e por isso difícil de interpretar.

### 3.3.2 MÉTODO HML (HIGH, MEDIUM, LOW)

Para calcular a atenuação de um protetor auditivo, este método pressupõe a determinação de três índices H,M,L com espectros dominantes nas baixas, médias e altas frequências (Miguel, 2010). Além disso também é preciso conhecer a diferença entre os níveis de pressão sonora ponderados A e C do ruído em causa.

Para calcular a redução prevista do nível sonoro (PNR) pode-se usar duas equações. A escolha da equação a utilizar depende da diferença numérica de  $LC - LA$ .

Assim:

- Para ruídos com  $(LC - LA) \leq 2$  dB(A), a equação para calcular o PNR é a seguinte:

$$PNR_x = M_x - \frac{(H_x - M_x)}{4} (L_C - L_A - 2) \text{ dB}$$

- Para ruídos com  $(LC - LA) > 2$  dB(A), a equação para calcular o PNR é a seguinte:

$$PNR_x = M_x - \frac{(H_x - L_x)}{8} (L_C - L_A - 2) \text{ dB}$$

Depois de conhecido o PNR, a atenuação proporcionada pelo protetor auditivo é determinada pela seguinte expressão:

$$L_{Ax} = L_A - PNR_x$$

Em que:

$L_A$  – É o índice de pressão sonora ponderado A.

### **3.3.3 MÉTODO SNR (SINGLE NUMBER RATING OU SINGLE NOISE REDUCTION)**

Este método prevê o cálculo do nível de pressão sonora efetivo a partir de um ruído de referência (Miguel, 2010). Relativamente aos métodos atrás apresentados este é o mais fácil de aplicar embora seja o menos rigoroso.

Para aplicar este método é necessário conhecer o nível de pressão sonora ponderado C do ruído em causa assim como o índice SNR dos protetores auditivos que se pretendem avaliar. Deste modo, o nível de pressão sonora efetivo é calculado através da seguinte expressão:

$$L_{Aeq, \text{efetivo}} = L_C - \text{SNR}$$

## **3.4 MOTIVOS QUE CONDUZEM À REJEIÇÃO DO USO DOS PROTETORES AUDITIVOS**

Por vezes em alguns locais de trabalho existe a necessidade dos trabalhadores usarem protetores ou tampões auditivos durante grande parte do tempo em que estão a trabalhar ou até mesmo durante todo o dia de trabalho. É, portanto muito importante que, entre outros motivos, o protetor auditivo seja realmente confortável para evitar a sua não utilização por parte dos trabalhadores. A seguir são apresentadas algumas razões apontadas pelos trabalhadores no que diz respeito à rejeição do uso de tampões e protetores auditivos.

### ***I. Tamanho impróprio do tampão auditivo***

O mercado oferece tampões auditivos com tamanhos diferentes pelo que é muito importante escolher um que se ajuste perfeitamente ao canal auditivo pois os utilizadores terão tendência para os colocar “levemente” causando espaçamentos entre o tampão e o canal auditivo ou, por outro lado, usá-los “forçadamente” o que irá originar um problema de desconforto que muito provavelmente resultará na não utilização do tampão auditivo (Suter, 1996d).

A inserção errada do tampão auditivo no canal auditivo é, provavelmente, a razão que mais contribui para a deficiente atenuação dos tampões auditivos. Muitos utilizadores não têm formação para utilizar estes equipamentos de proteção auditiva de forma adequada (Suter, 1996d).

### ***II. Compatibilidade com outros equipamentos de proteção individual***

Muitas vezes existe a necessidade de usar proteção auditiva com outros equipamentos de proteção individual tais como capacetes e óculos de segurança. Os abafadores auditivos são incompatíveis com os capacetes a não ser que sejam convenientemente “montados” nos mesmos. A utilização de óculos de segurança também pode afetar o uso de abafadores devido ao incómodo provocado pelas suas hastes. O cabelo longo e uso de brincos grandes podem também interferir na atenuação oferecida pelo abafador (Suter, 1996d).

### ***III. Desgaste dos protetores auditivos***

Os tampões de espuma são reutilizáveis embora com o uso comecem a ter uma menor capacidade de recuperação da sua forma inicial e por conseguinte uma maior dificuldade em se moldarem ao canal auditivo produzindo desta forma “folgas” de atenuação. Com o tempo e devido ao uso, os tampões têm tendência a quebrarem e a tornarem-se menos maleáveis (Suter, 1996d). Alguns utilizadores desenvolvem quantidades elevadas de cera e transpiração pelo que, neste caso, os tampões pré-moldados devam ser substituídos em apenas algumas semanas (Suter, 1996d).

Também com o uso, os abafadores podem perder a capacidade de “aperto” (tensão) não permitindo que as calotes se segurem convenientemente nas orelhas. As almofadas podem também deteriorar-se ficando quebradiças. Algumas atividades como movimentar-se e falar

podem reduzir o ajuste das calotes diminuindo assim a atenuação dos mesmos. É conveniente que os utilizadores verifiquem periodicamente o ajuste destes equipamentos (Suter, 1996d).

### **3.5 PROTEÇÃO AUDITIVA COMBINADA**

Embora não tenha sido considerado no desenho deste estudo, a seguir apresenta-se uma breve referência à proteção auditiva combinada.

A proteção auditiva combinada de tampões e abafadores normalmente confere uma maior proteção auditiva do que quando se usam os protetores individualmente. No entanto, a atenuação oferecida pela dupla proteção não é um simples processo aditivo, a atenuação combinada tende a ser mais baixa do que a soma da atenuação individual do tampão e do abafador (Tubb et al., 2005). Não existe nenhuma equação matemática que permita calcular com rigor a atenuação oferecida pela proteção combinada de um tampão e um abafador (Berger et al., 2003).

A proteção auditiva combinada é recomendada para pessoas que estejam expostas a níveis de ruído que excedam 105 dB(A) durante 8 horas. Por vezes, abaixo deste nível de exposição, também se torna problemático o uso de proteção auditiva combinada devido às interferências causadas na comunicação. O uso de proteção auditiva combinada é especialmente recomendado quando existe uma intensidade de ruído muito elevada na frequência dos 500 Hz ou menos uma vez que é nesta gama de frequência que a atenuação individual dos protetores é menor e os ganhos potenciais da dupla proteção são maiores (Berger et al., 2003).

Na proteção auditiva combinada, o ganho de "performance" em cada frequência varia entre 0 e 15 dB sobre o melhor equipamento de proteção usado individualmente mas a 2000 Hz o ganho é limitado a poucos decibéis. A atenuação varia muito pouco quando se utilizam diferentes abafadores com o mesmo tampão mas, para um dado abafador, a escolha do tampão é importante para a atenuação a frequências abaixo de 2000 Hz. Para frequências de 2000 Hz ou mais a proteção combinada oferece uma atenuação essencialmente igual às limitações impostas pela boa condução óssea, aproximadamente 40 a 50 dB, dependendo da frequência (Berger et al., 2003).

Behar e Kunov (1999) efetuaram uma investigação para medir o aumento da proteção auditiva fornecida pelo uso combinado de protetores auditivos do tipo tampão e abafador. Neste estudo

foram ensaiadas 16 combinações com quatro tipos de protetores auditivos: quatro tampões e quatro abafadores. De acordo com os mesmos autores, acredita-se que a atenuação oferecida por este tipo de utilização combinada de protetores auditivos é de 5 dB acima, quando comparada com a atenuação proporcionada pela utilização do melhor dos dois tipos de protetores isoladamente. Os mesmos autores referem que a norma Canadiana CSA Z94.2-94 cita que quando um trabalhador está exposto a um nível de ruído superior a 105 dB deva usar a proteção auditiva combinada de um tampão e um abafador.

Este estudo demonstrou que o uso combinado do abafador e do tampão oferece uma maior proteção do que o uso isolado do tampão; e que a proteção auditiva conferida pelo uso combinado destes protetores não é uniforme na gama de frequências, sendo quase 0 para a frequência de 125 Hz e relativamente baixa para as frequências de 1000 e 2000 Hz.

A proteção auditiva depende das características individuais dos protetores e da combinação dos tipos de protetores utilizados. Concluíram ainda que, quando é utilizado um tampão com uma elevada atenuação, o uso combinado do abafador não acrescenta benefícios significativos.

**CAPÍTULO IV**

**AUDIBILIDADE DE SINAIS VERBAIS  
E DE ALARME**

---





## 4.1 INFLUÊNCIA DO USO DE PROTETORES AUDITIVOS

O uso dos protetores auditivos pode interferir na capacidade de comunicar e na qualidade da percepção dos sinais de alarme emitidos por algumas máquinas industriais (Abel e Spencer, 1999; Hashimoto et al., 1996).

De acordo com Suter (1996c) os equipamentos de proteção auditiva podem reduzir ou atenuar na mesma proporção tanto os sons desejados como os indesejados. Os protetores auditivos do tipo abafador alteram a natureza do som e, por conseguinte, o espectro de frequências porque atenuam mais eficientemente nas altas frequências do que nas baixas frequências. A alteração do espectro de frequências quando se usam protetores auditivos produz sons agudos mais difíceis de ouvir o que poderá torná-los mais complicados de entender e, por portanto, comunicar.

A dificuldade em comunicar aumenta quando os indivíduos têm perdas auditivas significativas principalmente nas altas frequências, o que vulgarmente acontece em trabalhadores que laboram em meios industriais. Esta perda auditiva fomenta a não utilização dos protetores auditivos. Nestes casos é necessário ter em consideração que a escolha do protetor não deve ter uma elevada atenuação (proteção) (Suter, 1996b).

Outro aspeto importante e que pode influenciar a capacidade de comunicar em ambientes ruidosos é o chamado “efeito de oclusão”, o que faz com que a própria voz pareça muito alta. Este fenómeno acontece com mais incidência quando se usam tampões auditivos sobretudo se estes estiverem inseridos no canal auditivo apenas superficialmente. Neste caso os utilizadores têm tendência para baixar o “volume” das suas vozes o que provoca uma maior dificuldade de entendimento por parte daqueles que estão a ouvir a mensagem (Suter, 1996b).

A comunicação pode ainda tornar-se mais complicada quando ambos os intervenientes no discurso usam protetores auditivos. Para melhorar a capacidade em comunicar, por vezes os indivíduos envolvidos recorrem a algumas técnicas como a leitura labial e a linguagem gestual (Suter, 1996b).

Tal como já atrás foi referido, uso de protetores auditivos pode afetar a percepção de sinais não-verbais tais como sirenes, buzinas e outros sons de equipamentos industriais. Para combater esta situação, por vezes utilizam-se sinais de alerta suficientemente intensos e cujas características acústicas sejam bastante diferentes do ruído de fundo e ainda que não sejam

afetados pela atenuação dos protetores auditivos nas altas frequências (Suter, 1996b).

Lee e Kong (2006) lideraram um estudo tendo concluído que muitas indústrias e até mesmos locais públicos instalaram sistemas de alarme prejudiciais para a saúde dos trabalhadores. Normalmente estes sistemas produziam elevados índices de ruído para que fossem “bem percebidos” embora pudessem causar perdas auditivas significativas principalmente em ambientes muito ruidosos. Quando o sinal de alarme atuava na presença de ruído de fundo, o limiar de deteção do sinal era elevado. Para combater a exposição ao ruído, os indivíduos recorriam ao uso de protetores auditivos bloqueando a transmissão do som e absorvendo a energia sonora.

Suter (1989) citada por Lee e Kong (2006), concluiu que os níveis globais de ruído que chegam aos ouvidos são atenuados pelos protetores auditivos convencionais que reduzem a distorção e tornam mais fácil para o “ouvinte” distinguir o som desejado na presença de ruído de fundo, embora os níveis relativos se mantenham inalterados.

Suter (1996d) refere que alguns estudos revelam que os trabalhadores que têm perdas auditivas tendem a ter uma maior dificuldade em ouvir os sinais de alarme quando usam os protetores auditivos.

De acordo com Suter (1996c) os responsáveis pela seleção e compra dos protetores auditivos devem estar suficientemente sensibilizados para a interferência que os mesmos podem provocar na perceção dos sinais de alarme e na comunicação verbal.

A escolha dos sinais de alarme deve ser feita tendo em consideração as características do ruído de fundo em que vão ser instalados (espaço industrial/máquinas); o espectro de frequência destes alarmes pode ser alterado de modo a que não seja mascarado pelo ruído de fundo ou então que não seja atenuado pelos protetores auditivos. Outra solução para evitar a utilização de sinais de alarme passa pela substituição dos sinais acústicos por lâmpadas piscando ou outros sinais visuais (Suter, 1996c).

Outro aspeto a ter em consideração quando os trabalhadores usam a proteção auditiva é a dificuldade em localizar o som. A utilização dos tampões auditivos e dos abafadores pode impedir a capacidade de identificar se o sinal de alerta vem de trás ou da frente (Suter, 1996b).

Maia (2008) realizou um estudo e concluiu que em ambientes onde exista a necessidade dos trabalhadores identificarem a origem de alguns sinais acústicos se deva optar pelo uso de

tampões auditivos dado que estes revelaram ter uma menor influência na percepção de sinais de alarme. Deve ser evitada a utilização de protetores auditivos do tipo abafador em situações que requerem a identificação da localização das fontes de ruído.

O uso dos abafadores pode influenciar negativamente a capacidade para determinar se a fonte sonora está situada na direita ou na esquerda e ainda reduzir a possibilidade de localizar o som no plano vertical (Suter, 1996c).

## **4.2 MASCARAMENTO**

O mascaramento ou masqueamento, é um problema que pode afetar a audibilidade de sinais de alerta/alarme no meio industrial e é definido como sendo uma *“audibilidade diminuída de um som devido à presença de outro”* (Antunes et al., n.d.).

Se um som suave e um som alto forem emitidos ao mesmo tempo, o som suave é mascarado pelo som alto. Este tem um maior efeito de mascaramento se o som suave estiver dentro da mesma gama de frequências mas o mascaramento também acontece se o som suave estiver fora do intervalo de frequências do som alto. O mascaramento de sons suaves é mais pronunciado entre pessoas com deficiência auditiva (Hear-it, 2012).

Perante níveis de ruído consideráveis, o ouvido humano distorce o sinal auditivo transmitido ao cérebro, tornando-se por isso difícil distinguir entre o sinal auditivo que se pretende ouvir e o ruído de fundo (Christian, 1999). Suter (1989) citada por Christian (1999) refere que os protetores auditivos reduzem este problema, diminuindo o nível global de ruído (sinal e o ruído de fundo) permitindo que o cérebro mais facilmente diferencie o sinal de alarme/alerta do ruído de fundo.

Christian (1999) relata um estudo realizado por Wilkins e Martin (1977) cujo objetivo foi avaliar o efeito dos protetores auditivos no mascaramento dos limiares dos sinais de alarme. A conclusão a que chegaram foi que, para um ruído de fundo de 95 dB(C) e com sinais de aviso do tipo sirene e campainha, o limiar de mascaramento sem proteção auditiva foi de 3,34 dB relativamente ao uso de protetores. Segundo os autores do estudo, esta diferença deveu-se à distorção coclear.

Clemanet al., (1984), citados por Christian (1999), efetuaram outro estudo com o objetivo de determinar o limiar de mascaramento na presença de ruído a 92 dB(A) (geralmente de baixas

frequências). A investigação foi realizada com um abafador, abafadores montados em capacetes, tampões de espuma e sem qualquer proteção auditiva. Os investigadores verificaram que para frequências entre os 500 e 1000 Hz se registou um aumento do limiar de mascaramento quando colocados os protetores do tipo abafador (respetivamente 1,4 dB para o abafador e 2,4 dB para os abafadores montados no capacete) exigindo a emissão do sinal de alarme a elevados níveis de intensidade quando os sujeitos que participavam na experiência usavam os dispositivos de proteção auditiva. Este efeito não foi observado quando foram usados tampões auditivos. Acima de 1000 Hz, a média do limiar do mascaramento não é significativamente influenciada pelo uso dos protetores auditivos. É de notar que em todo o intervalo de frequências não se encontram diferenças entre o uso de tampões auditivos e a condição sem proteção. Isto deveu-se às características de atenuação dos tampões auditivos nas baixas frequências (ruído de baixa frequência). Em oposição, o aumento do limiar de mascaramento quando se utilizam abafadores é devido à sua baixa atenuação nas baixas frequências.

### **4.3 OUTROS FATORES QUE AFETAM A AUDIBILIDADE**

Como já foi referido, as características dos protetores auditivos e o mascaramento afetam a audibilidade. Outros fatores que também a influenciam são a perda auditiva, as características dos sinais de alerta, o conforto e a atenção (Christian, 1999).

A perda auditiva deve ser considerada quando se realizam estudos que têm como objetivo avaliar a deteção de sinais de alarme/alerta. Alguns estudos indicam que os indivíduos com uma audição normal têm uma maior probabilidade de detetar sinais de aviso, com ou sem protetor auditivo, do que aqueles que têm uma perda auditiva moderada (Christian, 1999).

As características do sinal de alarme assumem um papel muito importante na detetabilidade do mesmo. Christian (1999) diz que Wilkins e Martin (1985 e 1987) realizaram vários estudos para avaliar o contraste do ruído de fundo com um sinal de alarme e o contraste do sinal de alarme com outro sinal de alerta no limiar do mascaramento. Os investigadores concluíram que tanto o contraste com o ruído de fundo como o contraste com o outro sinal de alerta foram fatores importantes para a deteção do sinal de alarme.

O conforto é um dos fatores que mais influencia a quantidade de proteção auditiva conferida por um protetor auditivo (Casali et al., 1987; Park e Casali, 1991, citados por Christian, 1999). Se

um protetor auditivo for desconfortável, o trabalhador terá tendência para o colocar e retirar várias vezes ao longo do dia de trabalho, o que resultará numa redução da atenuação conferida pelo protetor auditivo em causa.

Por último, o outro fator a considerar é a atenção. Os sons são audíveis mas em algumas situações não são detetáveis precisamente por causa da falta de atenção.



**PARTE II**

**DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

---





**CAPÍTULO V**  
**METODOLOGIA**

---



## **5.1 INTRODUÇÃO**

O presente capítulo tem como finalidade expor a metodologia adotada na realização deste trabalho, tendo em consideração os objetivos propostos. Este encontra-se estruturado da seguinte forma: numa primeira fase é caracterizado o grupo de sujeitos que participaram nos ensaios; seguidamente são apresentados os equipamentos utilizados, assim como os procedimentos usados na medição do ruído de fundo e do sinal de alarme; na parte final são apresentados e caracterizados os protetores auditivos selecionados e é dado a conhecer o protocolo de ensaio elaborado para a realização dos ensaios.

## **5.2 PARTICIPANTES NOS ENSAIOS**

A seleção do grupo de indivíduos para a realização dos ensaios assentou no facto de estes não possuírem experiência profissional em ambientes industriais, assim como no uso de protetores auditivos. Foi também muito importante assegurar que o grupo escolhido fosse constituído por pessoas saudáveis do ponto de vista auditivo, sendo que para este efeito lhes foi questionado se alguma vez lhes havia sido anteriormente diagnosticado qualquer problema auditivo. Caso tivessem tido algum problema seriam afastados da amostra.

Dado não existir nenhuma indicação sobre o número de sujeitos que deveriam constituir a amostra, partiu-se do pressuposto que o número mínimo de indivíduos fosse o mesmo que aquele que está definido na norma ISO 4869 - 1. Esta norma é relativa ao ensaio e catalogação (atenuação) de protetores auditivos, na qual é estabelecido um número mínimo de participantes, ou seja 16. Para obter uma maior representatividade aumentou-se o tamanho da amostra para 26 sujeitos.

## **5.3 CABINE AUDIOMÉTRICA E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO**

Para simular o ambiente industrial em laboratório recorreu-se ao uso de uma cabine audiométrica, marca “Optac – Aumec Horprufkabine”. Dentro da referida cabine, o ruído de fundo e o sinal de alarme foram emitidos através de duas colunas Sony modelo SS – V 900 AV e uma coluna sem fios da marca “Jawbone Jambox,” respetivamente. Ainda dentro da cabine

audiométrica, a cadeira usada para as pessoas se sentarem durante a realização dos ensaios foi colocada de modo a que estas ficassem voltadas para a porta da cabine. A colocação da cadeira nesta posição resultou da necessidade de usar colunas para a emissão do ruído de fundo, e que foram suspensas uma de cada lado da cabeça do sujeito para que ficassem à mesma distância dos ouvidos dos sujeitos. Se a cadeira fosse colocada frontalmente, as colunas teriam ficado apenas do lado direito dos sujeitos do ensaio.

Os sonómetros utilizados para realizar as medições do ruído, tanto no caso do ruído de fundo como no caso do sinal de alarme, são sonómetros integradores que cumprem com os requisitos equivalentes aos da classe de exatidão 2 de acordo com a normalização internacional. Na figura V.1 estão ilustrados os sonómetros utilizados, nomeadamente o sonómetro da marca Quest Technologies – Model 2800 e da marca Bruel & Kjaer 2260 Investigator.



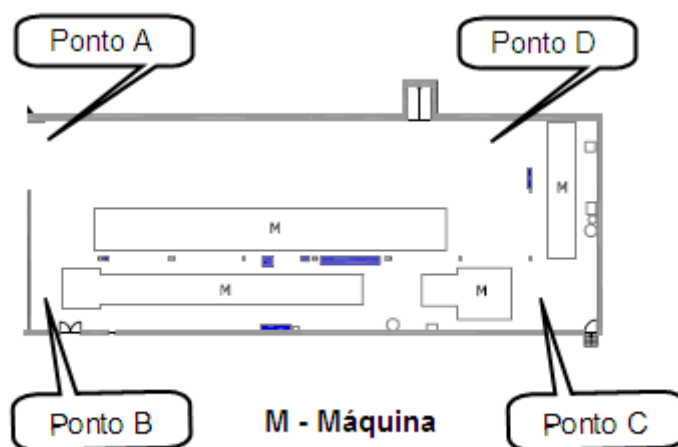
**Figura V.1** – Sonómetros utilizados nas medições.

### **5.3.1 RUÍDO DE FUNDO**

Para determinar o ruído de fundo em meio industrial realizaram-se 4 medições com um sonómetro da marca Quest Technologies modelo 2800 no espaço físico onde se encontravam as máquinas têxteis a trabalhar, tendo-se registado uma média logarítmica do ruído de fundo de 81,6 dB(A) (Anexo I).

As medições foram feitas por períodos de 10 minutos cada.

Na figura V.2 está representada a localização dos pontos onde se fizeram as medições do ruído de fundo em meio industrial e tabela V.1 estão listados as respectivas intensidades sonoras.



**Figura V.2** – Localização dos pontos de medição da intensidade do ruído de fundo em meio industrial.

**Tabela V.1** – Intensidade do ruído de fundo registado na empresa.

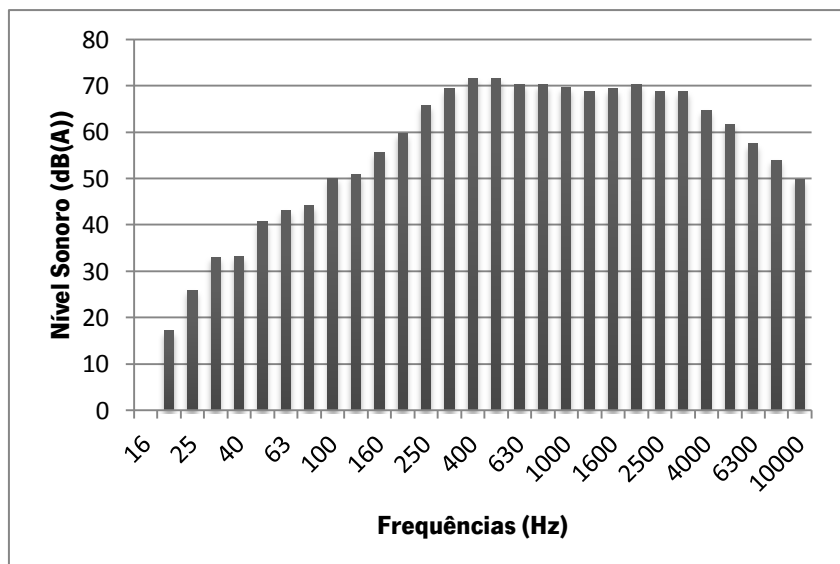
Pontos de Leitura	$L_{Aeq}$ (dB(A))
Ponto A	82,2
Ponto B	84,1
Ponto C	78,9
Ponto D	78,8

Para uma melhor caracterização do ruído de fundo foi também realizada a sua medição, em terços de oitava, com um sonómetro integrador Bruel & Kjaer 2260 Investigator, tendo-se obtido os valores registados na tabela V.2.

**Tabela V.2** – Níveis de pressão sonora, por terços de oitava, do ruído de fundo.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> (dB(A))</b>
16	—
20	17,2
25	26,0
31,5	33,1
40	33,3
50	40,7
63	43,1
80	44,2
100	50,1
125	50,9
160	55,7
200	59,7
250	65,8
315	69,4
400	71,6
500	71,6
630	70,4
800	70,3
1000	69,6
1250	68,8
1600	69,4
2000	70,4
2500	68,8
3150	68,8
4000	64,7
5000	61,8
6300	57,5
8000	54,0
10000	49,9

O valor da intensidade do ruído de fundo obtido foi de 80,9 dB(A). Na figura V.3 está representado o respectivo espectro de frequências.



**Figura V.3** – Espectro do nível de pressão sonora, em terços de oitava, do ruído de fundo.

No ensaio laboratorial, o sinal do ruído de fundo foi produzido com a ajuda de um gerador WB 1314 da Bruel & Kjaer (figura V.4). Este gerador de ruído estava ligado a um filtro Bose 802 – C System Controller estando este ligado ao amplificador Inkel MA – 610 (figura V.5), que por sua vez se liga à cabine audiométrica. Dentro da cabine audiométrica, o ruído de fundo foi distribuído uniformemente através de duas colunas Sony modelo SS – V 900 AV, ou seja, o mesmo nível de ruído de fundo foi emitido em cada coluna. As colunas emitiam o mesmo sinal tendo sido previamente verificada esta situação e foram colocadas nos cantos superiores anterior e posterior esquerdo da referida cabine. O uso do filtro Bose 802 – C System Controller visou assegurar que o sinal gerado pelo gerador WB 1314 não fosse cortado nas altas e baixas frequências. Para esse efeito foi usada a configuração FULL Range do filtro.



**Figura V.4** – Gerador de ruído WB 1314 da Brüel & Kjær.



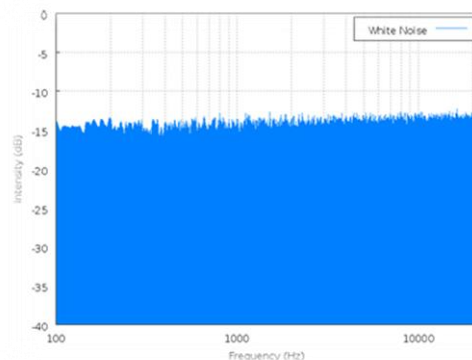
**Figura V.5** – Amplificador Inkel MA – 610.

Para simular o ruído de fundo pode utilizar-se o ruído rosa (“Pink Noise”), o ruído castanho (“Brown Noise”), o ruído branco (“White noise”) entre outros. Para a concretização prática deste trabalho optou-se por usar o ruído branco uma vez que é o menos agressivo para o ouvido humano, evitando-se deste modo uma exposição auditiva “dolorosa” para os participantes durante a realização dos ensaios. Para tal selecionou-se a posição “Spectrum White” no gerador de ruído.

O ruído branco é constituído pela combinação dos sons em todas as frequências tal como acontece com a luz branca que, também esta, é formada por todas as cores do espectro visível (Deonarain et al., 2006). Na figura V.6 está representada um exemplo da intensidade espectral do ruído branco. Como se pode verificar a intensidade sonora é sensivelmente a mesma em



todas as frequências (Deonarain et al., 2006).



**Figura V.6** – Representação espectral do ruído branco (reproduzido de Deonarain et al., 2006).

Para aferir o valor da intensidade do ruído de fundo para 81,6 dB(A) dentro da cabine audiométrica montou-se um sonómetro da Quest Technologies num tripé e procedeu-se ao ajustamento deste valor, de acordo com o procedimento seguinte:

1. Ligar a corrente elétrica que alimenta todos os equipamentos.
2. Ligar o gerador de ruído WB 1314 marca Bruel & Kjaer na posição “Spectrum White” e no máximo ou seja na posição “cal”.
3. Ligar o amplificador Inkel MA 610 e fixar o potenciômetro do “channel one” e do “channel two” na posição 0.
4. Rodar (aumentar) o potenciômetro do “channel one” do amplificador várias vezes até encontrar o valor de 81,6 dB(A) no sonómetro que se encontra dentro da cabine audiométrica. O potenciômetro do “channel two” mantém-se sempre na posição 0.
5. Colocar uma etiqueta no botão do “channel one” do amplificador com uma marca de marcador a indicar o valor de 81,6 dB(A). Assim torna-se mais fácil garantir esta intensidade ao longo da realização dos ensaios.

A figura V.7 tem como objetivo mostrar a instalação do equipamento para ajustar a intensidade sonora do ruído de fundo.



**Figura V.7** – Equipamento instalado para ajustar a intensidade sonora do ruído de fundo.

### 5.3.2 SINAL DE ALARME

O sinal de alarme utilizado neste estudo é um sinal emitido por uma máquina têxtil designada por máquina de mercerizar que mede 40 metros de comprimento. O dispositivo de emissão do sinal de aviso encontra-se numa das extremidades da máquina, tal como se pode verificar na figura V.8.

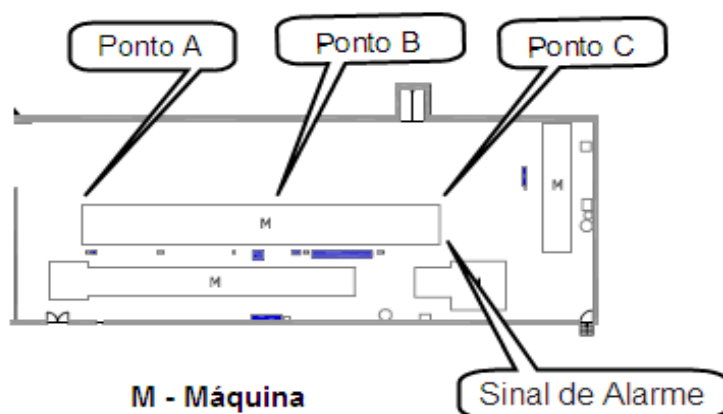


**Figura V.8** – Máquina de mercerizar: localização do alarme utilizado.

Sempre que se inicia o processo têxtil, a máquina emite o sinal de alarme duas vezes consecutivas. A sua gravação foi realizada com a ajuda de um gravador Sony de referência ICD-UX 200. O ficheiro resultante foi trabalhado informaticamente de modo a que, durante a realização dos ensaios, o sinal de alarme fosse emitido uma só vez. A duração deste sinal é de 4 segundos.

Ainda em meio industrial e com a ajuda de um sonómetro da marca Quest Technologies modelo 2800 procedeu-se à medição do sinal de alarme sempre com as outras máquinas desligadas para que estas não produzissem ruído e que, por isso, pudessem interferir nos resultados obtidos. Realizaram-se três medições tendo-se obtido uma média logarítmica do sinal de alarme de 91,5 dB(A) (Anexo II).

Na figura V.9 está representada a localização dos pontos onde se fizeram as medições do sinal de alarme em meio industrial e na tabela V.3 estão listadas as respetivas intensidades sonoras.



**Figura V.9** – Localização dos pontos de medição da intensidade do sinal de alarme em meio industrial.

**Tabela V.3** – Intensidade do sinal de alarme.

Pontos de Leitura	$L_{Aeq}$ (dB(A))
Ponto A	91,4
Ponto B	91,2
Ponto C	92,0

Para uma melhor caracterização do sinal de alarme foi também realizada a sua medição, em terços de oitava, com um sonómetro integrador Bruel & Kjaer 2260 Investigator, tendo-se obtido os valores registados na tabela V.4:

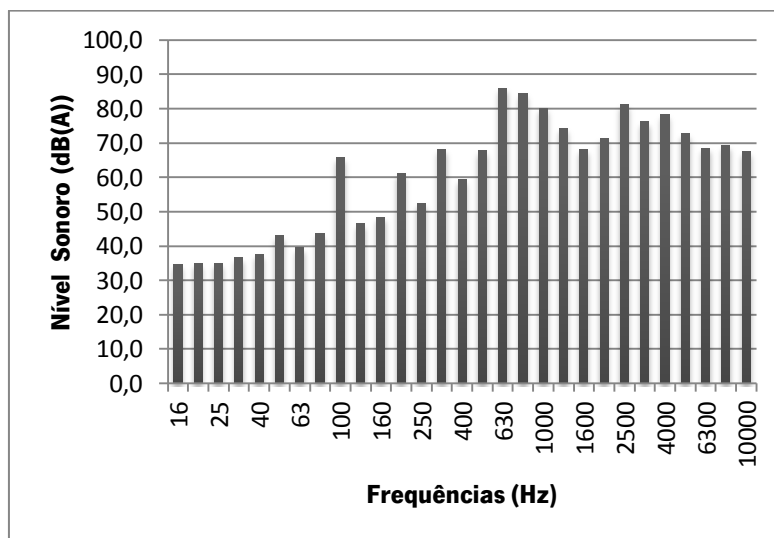
**Tabela V.4** – Níveis de pressão sonora, por terços de oitava, do sinal de alarme.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> (dB(A))</b>
16	34,7
20	35,1
25	35,0
31,5	36,7
40	37,6
50	43,0
63	39,5
80	43,7
100	65,8
125	46,6
160	48,4
200	61,3
250	52,5
315	68,3
400	59,3
500	67,8
630	86,0
800	84,5
1000	80,1
1250	74,3
1600	68,3
2000	71,5
2500	81,3
3150	76,2
4000	78,4
5000	72,7

**Tabela V.4** – Níveis de pressão sonora, por terços de oitava, do sinal de alarme (continuação).

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> (dB(A))</b>
6300	68,6
8000	69,2
10000	67,5

O valor da intensidade do sinal de alarme obtido foi de 90,5 dB(A). Na figura V.10 está representado o respetivo espectro de frequências, por terços de oitava.



**Figura V.10** – Espectro do nível de pressão sonora, em terços de oitava, do sinal de alarme.

Para reproduzir, em laboratório, o sinal de alarme recorreu-se ao uso de um computador portátil com sistema “Bluetooth” e a uma coluna sem fios Jawbone Jambox, colocada dentro da cabine audiométrica (figura V.11).



**Figura V.11** - Coluna sem fios Jawbone Jambox.

Uma vez que o valor da intensidade do sinal de alarme era significativamente elevado e se sobrepunha ao valor da intensidade do ruído de fundo, houve necessidade de encontrar um ponto para o qual o ruído de fundo mascarasse o sinal de alarme. Dessa forma assegurava-se que no início do teste os participantes não ouviam o sinal de alarme. Por outro lado, o sinal de alarme tinha que ser perfeitamente audível sem ruído de fundo dentro da cabine audiométrica, assumindo que o mesmo se fosse dissipando ao fim de 2 ou 3 níveis de aumento do ruído de fundo.

O valor da intensidade do sinal de alarme encontrado foi de 68 dB (A). Para aferir este valor colocou-se um sonómetro Quest Technologies modelo 2800 dentro da cabine audiométrica, deu-se ordem de emissão do sinal de alarme no computador e mediu-se a respetiva intensidade. Este procedimento foi repetido várias vezes até que se verificasse o nível pretendido no sonómetro que se encontrava dentro da cabine audiométrica, o que corresponde uma percentagem de 20% no volume do “player” usado no PC.

A coluna sem fios Jawbone Jambox foi suspensa a meio do teto da cabine audiométrica para que a distribuição do som fosse uniforme e a uma distância média de 15 cm dos ouvidos dos participantes no ensaio.

A figura V.12 ilustra como a coluna sem fios emissora do sinal de alarme foi colocada dentro da cabine audiométrica, recorrendo-se a uma fita de velcro.



**Figura V.12** – Coluna sem fios Jawbone Jambox suspensa no teto da cabine audiométrica.

## **5.4 PROTETORES AUDITIVOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS**

O critério tido em consideração na seleção dos protetores auditivos para a realização deste trabalho foi o de selecionar aqueles que mais frequentemente são usados no meio industrial. No que diz respeito aos tampões auditivos, optou-se pelo modelo “*E-A-R Ultrafit 3M*” (figura V.13). No que concerne aos protetores auditivos do tipo abafador, escolheu-se o protetor passivo modelo “*Leight Muff Multi-Position EAR Muff LM-7*” (figura V.14) e o protetor ativo modelo “*Ceotronics*” (figura V.15). Para cada um dos protetores auditivos atrás enunciados são apresentados os valores médios de atenuação por frequência, fornecidos pelo respetivo fabricante (tabela V.5, tabela V.6 e tabela V.7, respetivamente).



**Figura V.13** – Tampão auditivo *E-A-R Ultrafit 3M*.

**Tabela V.5** – Valores de atenuação do tampão auditivo *E-A-R Ultrafit 3M*.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>M<sub>f</sub> (dB)</b>	29,2	29,4	29,4	32,2	32,3	36,1	44,3	44,8
<b>s<sub>f</sub> (dB)</b>	6,0	7,4	6,6	5,3	5,0	3,2	6,0	6,4
	<b>SNR = 32</b>		<b>H = 33</b>		<b>M = 28</b>		<b>L = 25</b>	

Em que:

- **M<sub>f</sub>** - Valor médio de atenuação
- **s<sub>f</sub>** - Desvio padrão da atenuação
- **SNR** - Valor global de atenuação do protetor auditivo
- **H** – Valor de atenuação a altas frequências
- **M** – Valor de atenuação a frequências médias
- **L** – Valor de atenuação a baixas frequências



**Figura V.14** – Protetor passivo *E-A-R Muff LM - 7*.



**Tabela V.6** – Valores de atenuação do protetor passivo *E-A-R Muff LM – 7*.

Frequência (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>M<sub>r</sub> (dB)</b>	–	19,4	23,0	28,1	37,5	39,7	42,9	40,0
<b>s<sub>r</sub> (dB)</b>	–	2,0	2,2	2,0	3,5	3,9	2,8	3,8
<b>SNR = 26</b>								

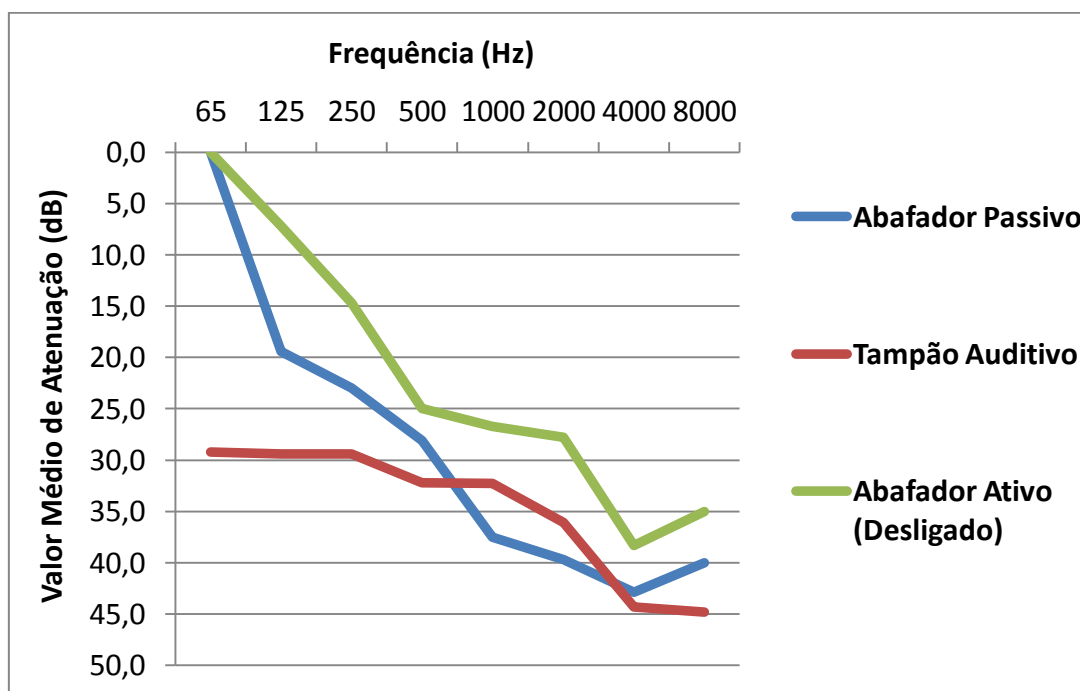


**Figura V.15** – Protetor ativo *Ceotronics*.

**Tabela V.7** – Valores de atenuação do protetor ativo *Ceotronics*.

Frequência (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>M<sub>r</sub> (dB)</b>	–	7,2	14,7	25,0	26,7	27,8	38,3	35,0
<b>S<sub>r</sub> (dB)</b>	–	2,2	4,4	6,1	4,1	4,1	5,4	7,5
<b>SNR = 22</b>		<b>H = 26</b>			<b>M = 19</b>		<b>L = 12</b>	

No gráfico da figura V.16 estão representadas esquematicamente as curvas de atenuação dos três equipamentos de proteção individual (EPI) atrás mencionados. Os valores de atenuação médios do abafador ativo são calculados com o potenciômetro na posição desligado ou seja, o abafador ativo tem um comportamento idêntico ao do abafador passivo.



**Figura V.16** – Comparação da atenuação dos três equipamentos de proteção individual.

## 5.5 PROTOCOLO DE ENSAIO

Para cada ensaio (sujeito) foram realizadas 3 medições, ou seja, foram executados testes com as diferentes condições de proteção (tampão auditivo, abafador passivo e abafador ativo), conforme ordem estabelecida na tabela V.8 (Anexo V).

A ordem pela qual foram realizadas os testes foi definida aquando a elaboração do protocolo de ensaio, tendo em consideração que as medições nunca fossem iniciadas sempre com a mesma condição de proteção. Este cuidado permitiu evitar um enviesamento dos dados pois se, por exemplo, o tampão auditivo fosse sempre a primeira condição a ser testada poderia acontecer de ter o pior desempenho, não por causa do protetor mas porque as pessoas ainda não estavam bem habituadas ao teste no início. Ao ser testado também noutra ordem, o efeito de enviesamento tende a dissipar-se.

**Tabela V.8** – Ordem de utilização dos diferentes protetores auditivos na realização dos ensaios.

<b>Participante</b>	<b>Abafador Passivo</b>	<b>Tampão Auditivo</b>	<b>Abafador Ativo</b>
1	1º	2º	3º
2	2º	3º	1º
3	3º	1º	2º
4	1º	2º	3º
5	2º	3º	1º
6	3º	1º	2º
7	1º	2º	3º
8	2º	3º	1º
9	3º	1º	2º
10	1º	2º	3º
11	2º	3º	1º
12	3º	1º	2º
13	1º	2º	3º
14	2º	3º	1º
15	3º	1º	2º
16	1º	2º	3º
17	2º	3º	1º
18	3º	1º	2º
19	1º	2º	3º
20	2º	3º	1º
21	3º	1º	2º
22	1º	2º	3º
23	2º	3º	1º
24	3º	1º	2º
25	1º	2º	3º
26	2º	3º	1º

Antes dos participantes serem convidados a se sentarem dentro da cabine audiométrica para dar início à realização dos ensaios, foi-lhes apresentado o termo de consentimento informado (Anexo III), assim como também lhes foi explicado como abrir a porta da cabine audiométrica da parte

de dentro. Entretanto, era-lhes dado a conhecer o ruído de fundo e o sinal de alarme para que se familiarizassem com os “sons” que iriam ouvir dentro da cabine.

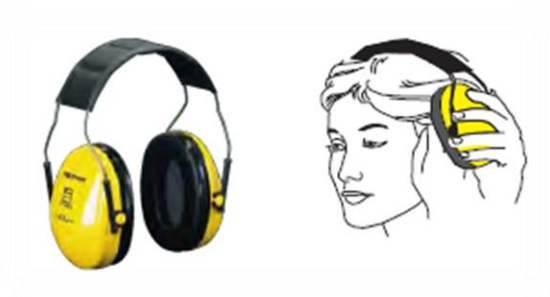
Foi solicitado aos participantes que colocassem os equipamentos de proteção auditiva e os ajustassem aos seus ouvidos sendo que, para este efeito, se emitia ruído de fundo. Por fim, era-lhes pedido que, sempre que detetassem o sinal de alarme na presença de ruído de fundo, levantassem o braço direito.

Ao longo da realização de cada ensaio e para cada protetor auditivo, o ruído de fundo foi sendo reduzido no respetivo gerador em passos de 5 dB até que os sujeitos levantassem o braço direito.

Abaixo encontra-se descrito o “Guião de Ensaio” utilizado para a realização deste trabalho.

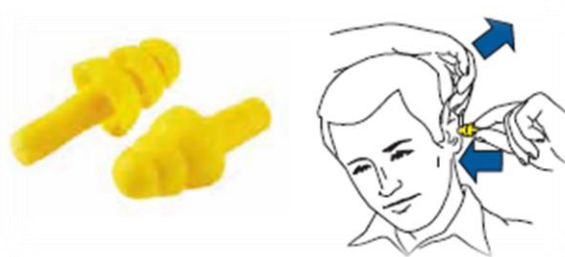
1. Questionar os participantes se alguma vez lhes foi diagnosticado algum problema auditivo.
2. Apresentar o formulário de consentimento informado.
3. Ligar a corrente elétrica que alimenta todos os equipamentos.
4. Ligar o gerador de ruído WB 1314 Bruel & Kjaer na posição “Spectrum White” e no máximo ou seja na posição “cal”.
5. Ligar o amplificador Inkel MA 610 colocando o potenciômetro do “channel one” e do “channel two” na posição 0.
6. Ligar o sistema “Bluetooth” no computador e acertar a saída do Windows para 20% (equivalente aos 68 dB(A) pretendidos)
7. Ligar a coluna sem fios “Jawbone Jambox” primindo o botão lateral e mante-la virada para baixo. Primir também o botão “redondo” na parte de cima da coluna (esta emite uma mensagem relativa à carga da bateria).
8. Mostrar aos participantes do ensaio como abrir a porta da cabine audiométrica da parte de dentro.
9. Mostrar o ruído de fundo e o sinal de alarme aos participantes do ensaio. Durante a realização do ensaio, solicitar-lhes que levantem o braço direito quando ouvirem o sinal de alarme.

10. Convidar os participantes a sentarem-se dentro da cabine audiométrica e dar início ao ensaio.
11. Colocar os tampões auditivos ou o abafador passivo ou abafador ativo conforme ordem estabelecida na tabela V.8. Solicitar aos participantes que ajustem os equipamentos de proteção auditiva aos seus ouvidos. Para tal “fornecer” ruído de fundo de modo a que os participantes “adaptem” os protetores auditivos aos ouvidos. No caso do abafador ativo colocar o potenciômetro no máximo e os microfones voltados para a frente (para a porta da cabine audiométrica). Colocar os protetores do tipo abafador de acordo com a figura V.17:



**Figura V.17** – Colocação dos abafadores (reproduzido de 3M, 2009).

No caso dos tampões auditivos colocá-los de acordo com a imagem abaixo (figura V.18):



**Figura V.18** - Colocação dos tampões auditivos (reproduzido de 3M, 2009).

12. Fechar a porta da cabine audiométrica.
13. Colocar o potenciômetro do “channel one” do amplificador Inkel MA 610 na posição 81,6 dB(A).

14. Dar a ordem de emissão do sinal de alerta no computador. Emitir várias vezes o sinal de alarme (com intervalos de tempo diferentes) até ter a certeza que a pessoa ouve ou não este sinal. Se a pessoa ouvir o sinal de alarme (levantar o braço direito) então proceder à sua anotação na respetiva folha de registo. Se não ouvir passar para o ponto 15.

A nomenclatura de registo de resultados utilizada foi a seguinte:

Assinalar 0 – Não ouve o sinal de alarme

Assinalar 1 – Ouve o sinal de alarme

15. Reduzir a intensidade do ruído de fundo em 5 dB de cada vez no respetivo gerador de ruído até que o participante levante o braço a confirmar que ouviu o sinal de alarme entretanto emitido. Repetir este procedimento várias vezes para ter a certeza que o sujeito o identificou, ou seja, ouviu o sinal de alarme. Proceder aos espetivos registos.
16. Reduzir substancialmente o ruído de fundo (menos 35 dB(A)) e abrir a porta da cabine audiométrica (para evitar que as pessoas fiquem expostas a 81,6 dB(A)).
17. Colocar o outro equipamento de proteção auditiva e ajustá-lo aos ouvidos (ver ponto 11) e fechar a porta da cabine audiométrica. Repetir o procedimento a partir do número 14 até ao ponto 16.

Terminado este teste proceder de igual forma para a terceira condição de proteção.

18. Terminado o ensaio colocar o botão do gerador de ruído na posição “cal” e depois desligá-lo.
19. No amplificador Inkel MA 610 colocar o potenciómetro do “channel one” na posição 0 e depois desligá-lo.
20. Por fim, desligar a corrente elétrica que alimenta todo o conjunto.
21. Desligar também a coluna sem fios “Jawbone Jambox”.

Antes de se realizarem os ensaios de acordo com o guião acima definido foram executados alguns ensaios preliminares conforme o “ Guião de Ensaio Preliminar“ (Anexo IV).

Na figura V.19 está ilustrada a “sala” de realização dos ensaios:



**Figura V.19** – Visualização do local de realização dos ensaios.





**CAPÍTULO VI**

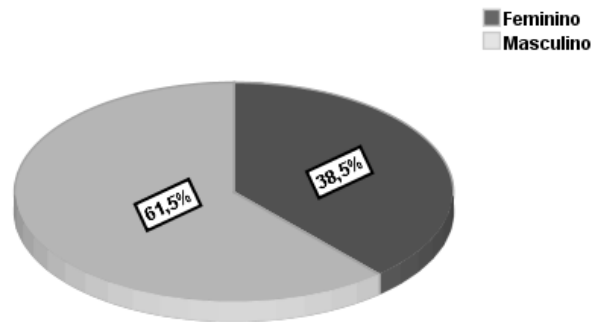
**ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---



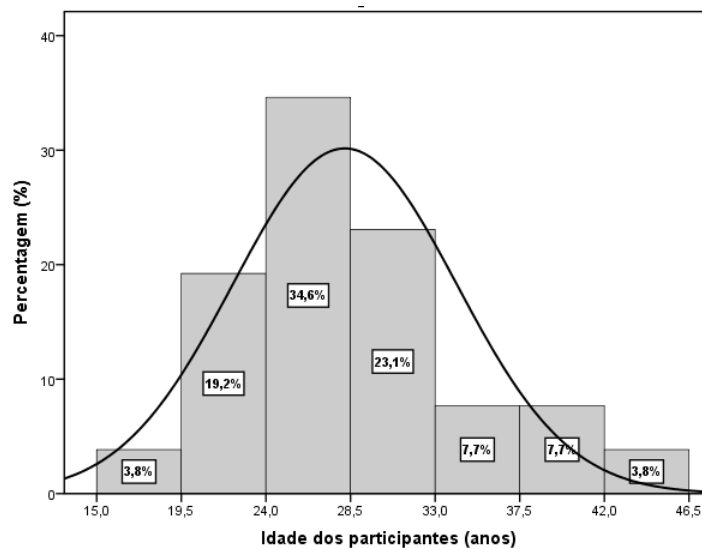
## 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra foi constituída por 61,5% de indivíduos do sexo masculino e 38,5% do sexo feminino, tal como se pode constatar na figura VI.1.



**Figura VI.1** – Distribuição da população por sexos.

Como se pode verificar no gráfico da figura VI.2, a amostra é constituída por uma população cuja idade segue uma distribuição normal, ou seja, verifica-se que a maior percentagem de pessoas que participaram neste estudo têm uma idade que se situa entre os 19,5 anos e os 33 anos, sendo que a idade média dos indivíduos é de 28 anos e o desvio padrão é de 6 anos.



**Figura VI.2** - Distribuição “normal” da idade da população.

## 6.2 RESULTADOS

Tal como já foi referido no capítulo anterior, o registo das respostas dos participantes foi realizado de acordo com a nomenclatura descrita na tabela VI.1:

**Tabela VI.1** – Nomenclatura de registo das respostas.

<b>Registo</b>	<b>Descrição</b>
<b>0</b>	Não ouviu o sinal de alarme
<b>1</b>	Ouviu o sinal de alarme

Todas as respostas dadas por cada participante e para cada protetor auditivo foram registadas no anexo VI. Com base neste quadro geral criou-se a tabela VI.2 onde estão anotados os valores de redução do ruído de fundo para cada caso. Verificou-se que houve necessidade em diminuir o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB para que o sinal de aviso fosse identificado.

Os dados registados na tabela VI.2 foram tratados informaticamente com a ajuda do programa estatístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences).

Uma vez que o objetivo não foi o de avaliar o comportamento de cada pessoa relativamente ao uso dos diferentes protetores auditivos, mas sim se a redução do ruído de fundo influencia a deteção do sinal de alarme quando usadas diferentes protetores auditivos, consideraram-se todas as medições executadas, ou seja, 26 indivíduos que realizaram 3 testes cada, totalizando 78 medições.

**Tabela VI.2** – Dados obtidos: nível de redução do ruído de fundo na identificação do alarme.

<b>Participante</b>	<b>Tampão Auditivo (dB)</b>	<b>Abafador Passivo (dB)</b>	<b>Abafador Ativo (dB)</b>
1	10	10	15
2	10	10	15
3	10	10	15
4	5	5	5
5	10	10	15
6	10	10	15
7	10	10	15
8	5	5	10
9	10	10	10
10	15	10	15
11	10	10	10
12	5	10	10
13	5	5	10
14	10	5	10
15	10	5	10
16	10	10	10
17	5	5	10
18	5	5	5
19	10	5	10
20	10	5	15
21	10	5	10
22	10	5	10
23	5	5	5
24	10	10	10
25	5	5	10
26	10	10	10

Com o intuito de avaliar individualmente a influência de cada protetor auditivo na percepção do sinal de alarme, foi construído um quadro resumo com as percentagens das respostas (tabela VI.3) para cada uma das categorias de redução do ruído de fundo, ou seja, para 5 dB, 10 dB e 15 dB.

**Tabela VI.3** – Percentagem de respostas (N=78) para cada protetor auditivo.

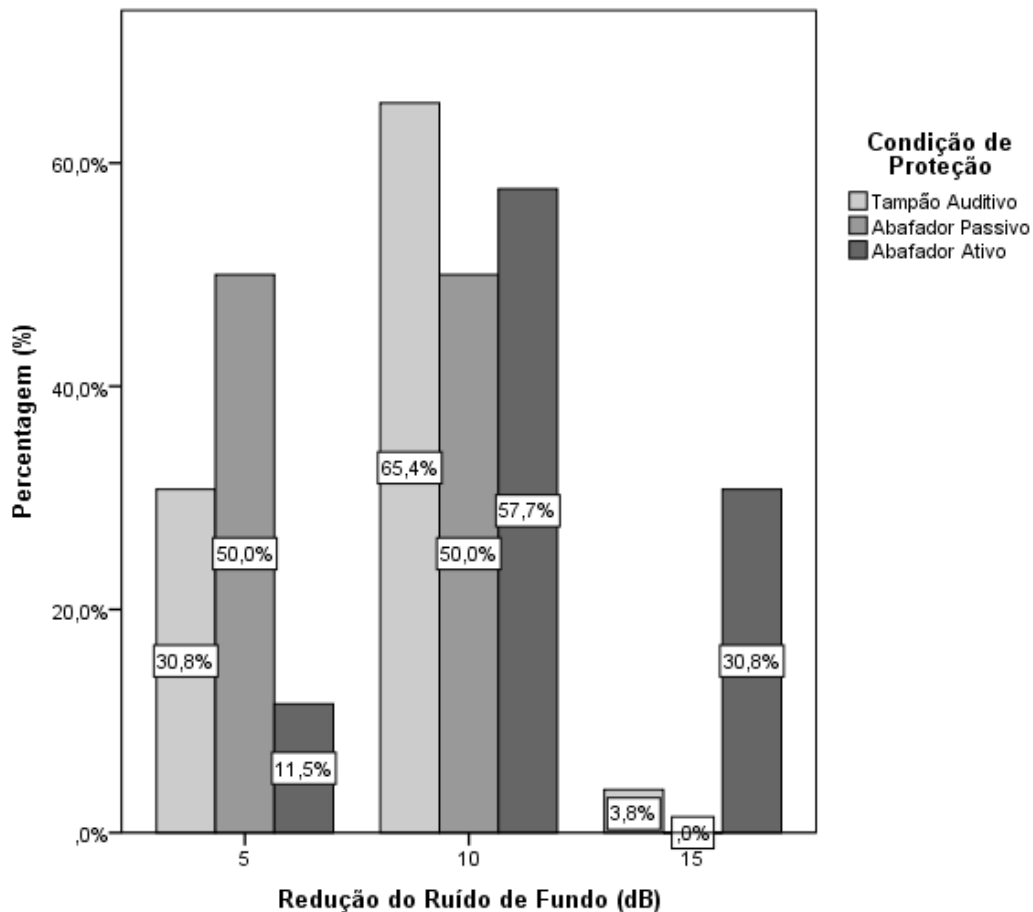
Protetores Auditivos	Redução do Ruído de Fundo (dB)			Total
	5	10	15	
Tampão Auditivo	30,8 %	65,4 %	3,8 %	100%
Abafador Passivo	50,0 %	50,0 %	0 %	100%
Abafador Ativo	11,5 %	57,7 %	30,8 %	100%

Analisando a tabela VI.3 constata-se que, para o tampão auditivo, 65,4% dos sujeitos identificaram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 10 dB e 30,8% ouviram-no quando se diminuiu apenas o ruído de fundo em 5 dB. Só 3,8% dos indivíduos é que tiveram necessidade de reduzir o ruído de fundo em 15 dB para conseguirem perceber o sinal de alarme.

Para o abafador passivo verifica-se que 50% dos participantes identificaram o sinal de alerta quando se reduziu o ruído de fundo em 5 dB e os restantes quando se diminuiu em 10 dB. De salientar que para este protetor auditivo não houve necessidade de baixar o ruído de fundo em 15 dB para que fosse percebido o sinal de aviso.

Para o abafador ativo constata-se que a maior percentagem (57,7%) de indivíduos ouviu o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 10 dB. No entanto, 30,8% dos sujeitos sentiram necessidade de baixar o ruído de fundo em 15 dB para identificarem o sinal de aviso e, só 11,5% é que o conseguiram identificar reduzindo apenas em 5 dB o ruído de fundo.

Para uma melhor visualização da influência dos diferentes protetores auditivos na percepção do sinal de alarme foi desenhado um gráfico, a partir da tabela VI.3, que ilustra a percentagem de sujeitos que detetaram o sinal de aviso quando se diminuiu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB.



**Figura VI.3** - Representação gráfica da porcentagem de indivíduos que identificaram o sinal de alarme para os diferentes níveis de ruído de fundo.

Pelo exposto, conclui-se que, para uma redução de 5 dB, o abafador passivo teve uma menor influência na percepção do sinal de alarme. No entanto, quando se reduziu o ruído de fundo em 10 dB, o protetor que revelou ter uma menor influência na percepção do sinal de aviso foi o tampão auditivo. O abafador ativo foi o que mais influenciou a percepção do sinal de alarme.

A amostra tida em consideração neste estudo foi avaliada relativamente a duas características: tipo de protetor auditivo e a respetiva redução do ruído de fundo. As frequências observadas, da classificação simultânea das duas características formam uma tabela de contingência de duas entradas.

Na tabela VI.4 estão registadas a frequência de respostas, ou seja, o número de respostas que identificaram o sinal de alarme para cada tipo de protetor auditivo e para os diferentes níveis de

redução do ruído de fundo. A análise efectuada à tabela VI.4 foi realizada por classe de ruído de fundo, ou seja, por colunas.

**Tabela VI.4** – Frequência de respostas (N=78) para cada protetor auditivo.

Protetores Auditivos	Redução do Ruído de Fundo (dB)					
	5		10		15	
Tampão Auditivo	8	33,3%	17	37,8%	1	11,1%
Abafador Passivo	13	54,2%	13	28,9%	0	0%
Abafador Ativo	3	12,5%	15	33,3%	8	88,9%
Total	<b>24</b>	<b>100%</b>	<b>45</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>

Uma vez verificada uma possível diferença no número de respostas dadas relativamente à utilização dos diferentes protetores e para os diferentes níveis de ruído de fundo tornou-se pertinente saber se a redução do ruído de fundo é independente do protetor auditivo utilizado (N=78).

Para concretizar este objetivo aplicou-se o teste não paramétrico Qui-Quadrado considerando um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ) (Anexo VII).

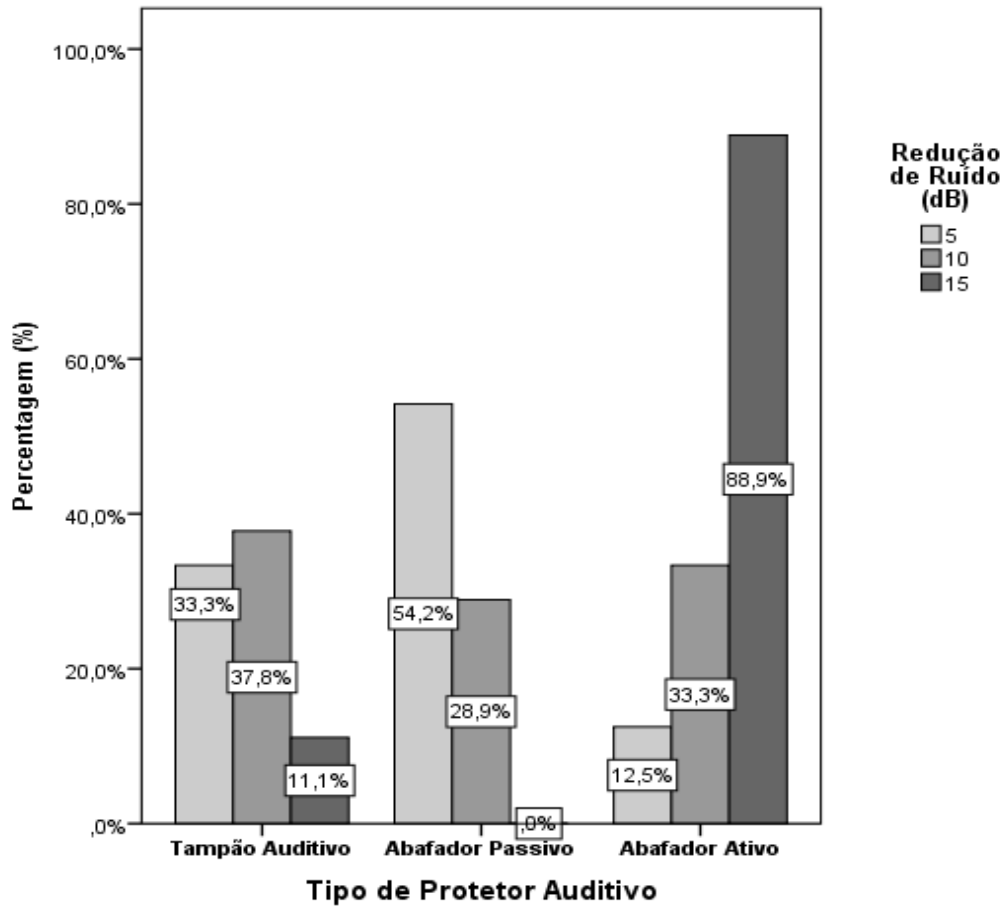
Pela análise efetuada verifica-se que a redução do ruído de fundo em 5, 10 ou 15 dB depende do protetor auditivo usado ( $X^2(4) = 19.45, p < 0,05$ ) (Anexo VII).

No gráfico da figura VI.4 observa-se que, para o protetor ativo se registou uma percentagem de 88,9% de respostas que só conseguiram ouvir o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 15 dB, ou seja, das 9 pessoas que ouviram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 15 dB, 8 pessoas identificaram-no com o abafador ativo e apenas uma pessoa o identificou com tampão auditivo.

Para o abafador passivo não se observou nenhum caso em que fosse necessário reduzir o ruído de fundo em 15 dB para identificar o sinal de alarme.

Finalmente, para o tampão auditivo só 11,1% das pessoas é que sentiram necessidade em reduzir o ruído de fundo em 15 dB para perceber o sinal de aviso.





**Figura VI.4** - Representação gráfica da porcentagem de indivíduos que identificaram o sinal de alarme para os diferentes protetores auditivos.

Pelo exposto pode-se concluir que o desempenho do abafador ativo é significativamente diferente do desempenho dos outros tipos de protetores, ou seja, é significativamente diferente do tampão auditivo e do abafador passivo, não existindo diferenças estatisticamente significativas entre estes dois tipos de protetores ( $X^2(2) = 2.72, p > 0,05$ ) (Anexo VIII).



## **CAPÍTULO VII**

# **CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

---



## **7.1 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

A maioria dos trabalhadores que laboram em meio industrial está exposta a níveis de ruído elevados, pelo que, quando tal acontece, devem usar proteção individual auditiva. Embora os protetores auditivos tenham como objetivo contribuir para uma maior segurança do utilizador, a verdade é que, frequentemente os trabalhadores reclamam que a utilização destes equipamentos de proteção influencia a percepção de sinais de alarme (Suter, 1996c).

A redução da percepção aos sinais de alarme em meio industrial pode constituir um risco para as pessoas expostas. É portanto, muito importante que nestes ambientes não se verifique dificuldade na percepção dos sinais de aviso para que, deste modo, as pessoas sejam alertadas para situações que eventualmente possam acontecer.

De acordo com as condições de teste estabelecidas e segundo os dados obtidos neste trabalho, verifica-se que o protetor ativo deve ser usado com algum cuidado em ambientes industriais onde haja necessidade de identificar (ouvir) sinais de alarme/aviso. Neste tipo de ambientes, e de acordo com os resultados obtidos, se houver necessidade de proteger os trabalhadores, esta proteção deve ser feita recorrendo ao uso de tampão auditivo ou abafador passivo, dado estes se terem revelado a melhor opção no que diz respeito à influência na percepção do sinal de alarme. Por outras palavras, os protetores auditivos do tipo tampão auditivo ou abafador passivo foram os protetores que interferiram menos na percepção do sinal de alarme quando este atuava na presença de ruído de fundo.

Em ambientes industriais em que seja absolutamente necessária a utilização de protetores individuais auditivos devido aos elevados níveis de ruído e que, em simultâneo, seja necessário identificar os sinais de alarme seria, importante considerar a possibilidade de se proceder a ações de formação dos trabalhadores para que estes desenvolvam a sua sensibilidade aos sinais sonoros de aviso. Deste modo, o utilizador poderia reconhecer com maior facilidade os sinais acústicos e, assim, criaria defesas e autoconfiança para normalmente executar as suas tarefas e, em simultâneo, encontrar-se-ia numa situação de maior segurança. Suter (1996b) refere que os trabalhadores devem ser informados de que os sons emitidos pelas máquinas parecem diferentes quando usam protetores auditivos, pelo que devem ser encorajados a se acostumarem ao novo som.

Para ajudar a uma melhor identificação do sinal alarme pode também ser considerada a possibilidade de colocação de um sinal luminoso associado ao sinal auditivo de alarme (Suter, 1996b).

Tendo em conta os resultados obtidos e as limitações do atual estudo, sugere-se que este estudo possa ser ampliado considerando-se as seguintes opções de investigação:

- Realizar um estudo idêntico ao atual mas usando um sinal de alarme acústico do tipo intermitente;
- Considerar na amostra de sujeitos trabalhadores com experiência em ambientes industriais e no uso de protetores auditivos. Desta forma, poder-se-ia avaliar se o fator experiência influenciaria ou não os resultados obtidos.

## BIBLIOGRAFIA

- 3M. (n.d.). Saúde Ocupacional - Como você nunca ouviu antes. Brasil.
- 3M. (2009). Departamento de Saúde Ocupacional & Segurança Ambiental - Catálogo de produtos para proteção auditiva.
- Abel, S. M., Sass-Kortsak, A., & Kielar, A. (2002). The effect on earmuff attenuation of other safety gear worn in combination. *Noise & Health*, 5(17), 1–13.
- Abel, S. M., & Spencer, D. L. (1999). Speech understanding in noise with earplugs and muffs in combination. *Applied Acoustics*, 57, 61–68.
- Abelenda, C. S. (2006). *Avaliação do Conforto dos Protetores Individuais Auditivos*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho.
- Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. (2005). Uma introdução ao ruído no trabalho.
- Antunes, B., Valsassina, F., & Coelho, A. (n.d.). MP3 - Mascaramento Auditivo. Consultado em 14/10/2012, disponível em [http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006\\_2007/MEEC/Trab\\_21/ouvido.html](http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_21/ouvido.html)
- Araújo, S. A. (2002). Noise induced hearing loss in metallurgical workers. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, 68(1), 47–52.
- Arezes, P. M. (2002). *Perceção do risco de exposição ocupacional ao ruído*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Arezes, P., & Miguel, A. S. (2002). Hearing Protectors Acceptability in Noisy Environments. *Ann. occup. Hyg.*, 46(6), 531–536.
- Barbosa, M. S. A. (2009). *Ruído e Desempenho Cognitivo dos Professores: Um estudo exploratório*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho.

- Behar, A., & Kunov, H. (1999). Insertion loss from using double protection. *Applied Acoustics*, 57, 375–385.
- Berger, E. H., Royster, L. H., Royster, J. D., Driscoll, D. P., & Layne, M. (2003). *The Noise Manual*.
- Christian, E. V. (1999). *The detection of warning signals while wearing active noise reduction and passive hearing protection devices*.
- Creppe, R. C., & Porto, L. G. C. (n.d.). Utilização do dosímetro nas avaliações de ruído ocupacional.
- Deonarain, D., Mang, G., Misiti, T., & Ehremberger, C. (2006). NoiseModeling. Consultado em 12/07/2012, disponível em <https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/NoiseModeling>
- Edworthy, J. (1997). Noise and its effects on people : an overview. *International Journal of Environmental Studies*, 51(4), 335–344.
- Fernandes, J. C. (2003). Effects of hearing protector devices on speech intelligibility. *Applied Acoustics*, 64, 581–590.
- Ganime, J., Almeida da Silva, L., Robazzi, M., Valenzuela Sauzo, S., & Faleiro, S. (2010). O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura. *Efermeria Global*, (19).
- Hashimoto, M., Kumashiro, M., & Miyake, S. (1996). Speech perception in noise when wearing hearing protectors with little low-frequency attenuation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 18, 121–126.
- Hear-it. (2012). Consultado 09/04/2012, disponível em <http://www.hear-it.org/Masking>
- ISO 4869-1 (1981). Acoustique - Mesurage d'affaiblissement acoustique des protecteurs individuels contre le bruit - Methode subjective. International Standards Organization, Geneve.



- Lee, J. S., & Kong, D. (2006). Investigation of hearing protection effects in an extreme noise environment with an alarm location problem. *International Ergonomics*, 36, 685–693.
- MSA - The Safety Company. (2011). Proteção Auditiva. *Junho*.
- MacGoris, S. (2010). Changes over time - First findings from the fifth European Working Conditions Survey. *European Foundation for the improvement of Living and Working Conditions*. Consultado em 04/10/2012, disponível em <http://www.eurofound.europa.eu/pubdocs/2010/74/en/3/EF1074EN.pdf>.
- Maia, L. (2008). *A influência da proteção individual auditiva na percepção de estímulos acústicos de alarme*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho.
- Merek, P. S. (2003). *Enfermagem médico-cirúrgica: conceitos e prática clínica* (Volume IV). Lusociência.
- Miguel, A. S. (2010). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. (11ª Edição). Porto Editora. Porto.
- Mohammadi, G. (2008). Hearing conservation programs in selected metal fabrication industries. *Applied Acoustics*, 69(4), 287–292.
- Nelson, D. I., Nelson, R. Y., Concha-Barrientos, M., & Fingerhut, M. (2005). The Global Burden of Occupational Noise-Induced Hearing Loss. *American Journal of Industrial Medicine*, 48, 446–458.
- Santos, J. D., & Ferreira, I. da C. (2008). Variação dos Limiares em Trabalhadores Submetidos a Ruído Ocupacional. *Arquivos Internacionais de Otorinolaringologia*, 12(2).
- Suter, A. (1996a). Workplace noise can cause hearing loss. *3M JobHealth Highlights*, 14(3), 1–4.
- Suter, A. (1996b). How hearing protection affects the perception of speech and warning signals. *3M JobHealth Highlights*, 14(3), 12–13.
- Suter, A. (1996c). The noise reduction rating - fact and fiction. *3M JobHealth Highlights*, 14(3), 10–12.

Suter, A. (1996d). Using hearing protectors in the real world. *3M JobHealth Highlights*, 14(3), 10–12.

Tubb, C., Mercy, S., & James, S. (2005). Investigating Double Hearing Protection using Human Subjects. In *In New Directions for Improving Audio Effectiveness. Meeting Proceedings RTO-MP-HFM-123* (pp. 19–1 – 19–12).

WHO. (2001). Occupational and community noise. *World Health Organization (Fact sheet N. 258)*.

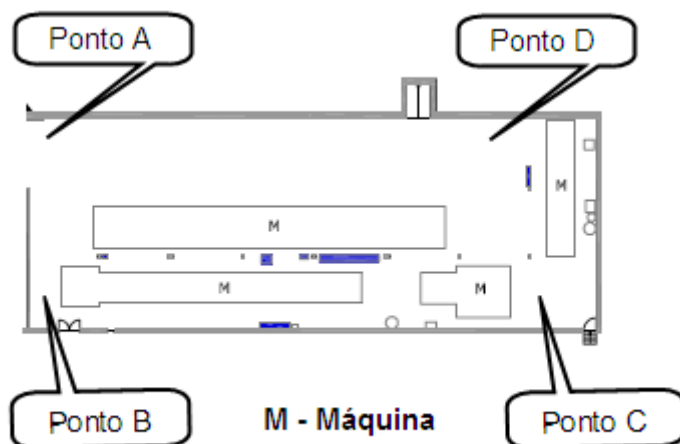
Zannin, H. T. (2005). *Protetores Auditivos: Uso e Eficiência*. Universidade Federal do Paraná, Brasil.

**ANEXOS**

---



## ANEXO I – RUÍDO DE FUNDO



**Figura V.2** – Localização dos pontos de medição do ruído de fundo em meio industrial.

**Tabela V.1** – Intensidade do ruído de fundo registrado na empresa.

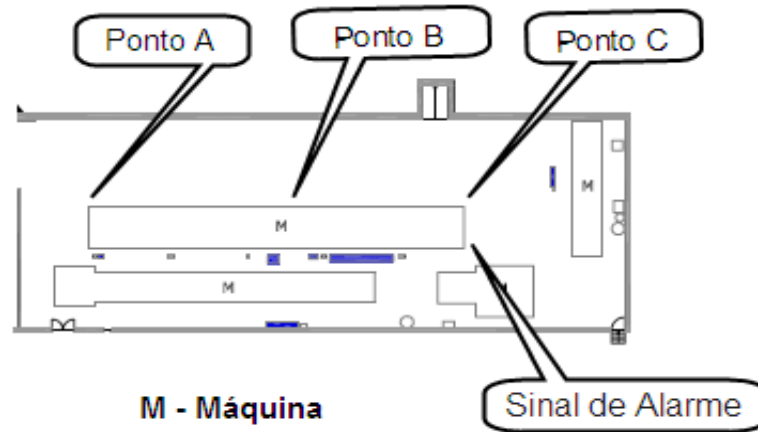
Pontos de Leitura	LAeq (dB(A))
Ponto A	82,2
Ponto B	84,1
Ponto C	78,9
Ponto D	78,8

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left[ \left( \frac{1}{n} \right) \sum 10^{0,1 \times (LA_i)} \right]$$

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left[ \left( \frac{1}{4} \right) \times \left( 10^{0,1 \times 82,2} + 10^{0,1 \times 84,1} + 10^{0,1 \times 78,9} + 10^{0,1 \times 78,8} \right) \right]$$

$$LA_{eq} = 81,58 \approx 81,6 \text{ dB(A)}$$

## ANEXO II – SINAL DE ALARME



**Figura V.9** – Localização dos pontos de medição da intensidade do sinal de alarme em meio industrial.

**Tabela V.3** – Intensidade do sinal de alarme.

Pontos de Leitura	Sinal de Alarme (dB)
Ponto A	91,4
Ponto B	91,2
Ponto C	92,0

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left[ \left( \frac{1}{n} \right) \sum 10^{0,1 \times (LA_i)} \right]$$

$$LA_{eq} = 10 \times \log \left[ \left( \frac{1}{3} \right) \times \left( 10^{0,1 \times 91,4} + 10^{0,1 \times 91,2} + 10^{0,1 \times 92,0} \right) \right]$$

$$LA_{eq} = 91,5 \text{ dB(A)}$$

## **ANEXO III – CONSENTIMENTO INFORMADO**



Universidade do Minho | Mestrado em Engenharia Humana

### **TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO**

**TÍTULO DO PROJETO:** Estudo da influência da proteção auditiva na perceção de sinais de alerta na presença de ruído de fundo.

**ENQUADRAMENTO:** Estudo realizado no âmbito de um trabalho de investigação para uma dissertação de Mestrado em Engenharia Humana.

**EXPLICAÇÃO DO ESTUDO:** Pretende-se com a realização deste trabalho estudar em que medida a proteção auditiva influencia ou não a perceção de sinais de alarme que atuam em ambiente industrial e na presença de ruído de fundo. Para tal avaliar-se-á individualmente a influência dos protetores auditivos (tampão, abafador passivo e abafador ativo) na perceção de sinais de alarme. Os dados serão obtidos através de ensaios experimentais realizados no Laboratório de Ergonomia da Universidade do Minho.

**CONFIDENCIALIDADE E ANONIMATO:** Todos os dados obtidos permanecerão confidenciais.

Agradece-se desde de já a sua colaboração!

Susana Maria Martins Abreu, aluna do Mestrado em Engenharia Humana na Universidade do Minho, com o endereço eletrónico: [susanaabreu@iol.pt](mailto:susanaabreu@iol.pt)

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Eu, abaixo assinado, concordo em participar no referido estudo como sujeito. Declaro que fui devidamente informado e esclarecido sobre as fases do estudo, sobre as técnicas utilizadas para a colheita de dados e sobre o momento e a duração das tarefas a realizar. Foi-me garantida a confidencialidade e o anonimato. Declaro ainda que autorizo o uso das informações obtidas, na divulgação do estudo através de trabalhos científicos.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



## ANEXO IV – GUIÃO DE ENSAIO PRELIMINAR



Universidade do Minho | Mestrado em Engenharia Humana

### GUIÃO DE ENSAIO PRELIMINAR

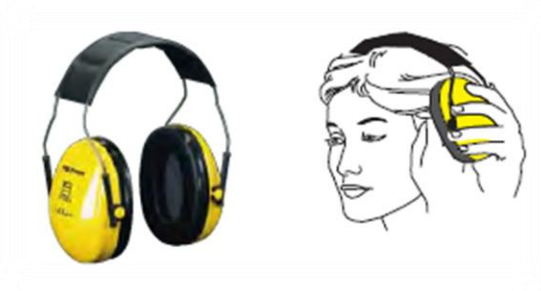
1. Ligar a corrente elétrica que alimenta todos os equipamentos.
2. Ligar o gerador de ruído WB 1314 Bruel & Kjaer na posição “Spectrum White” e no máximo ou seja na posição “cal”.
3. Ligar o amplificador Inkel MA 610 colocando o potenciômetro do “channel one” e do “channel two” na posição 0.
4. Fixar a posição do “channel one” do amplificador. O “channel two” fica na posição 0.

Para definir a posição do “channel one” procedeu-se do seguinte modo:

- Realizaram-se quatro medições do ruído de fundo com o sonómetro da marca Quest Technologies modelo 2800 no espaço físico onde se encontram as máquinas têxteis (Anexo I). As máquinas estavam a trabalhar sem emitirem sinais de alarme.
- Calculou-se a média logarítmica do ruído de fundo tendo-se encontrado um valor de 81,6 dB(A) (Anexo I).
- Colocou-se um tripé com um sonómetro da marca Quest Technologies modelo 2800 dentro da cabine audiométrica para fazer o ajuste do ruído de fundo que é emitido através de duas colunas Sony modelo SS-V 900 AV. Assim a posição do “channel one” é de 81,6 dB(A). Para garantir esta intensidade ao longo da realização dos ensaios colou-se uma etiqueta com uma marca de marcador no botão “channel one” do amplificador

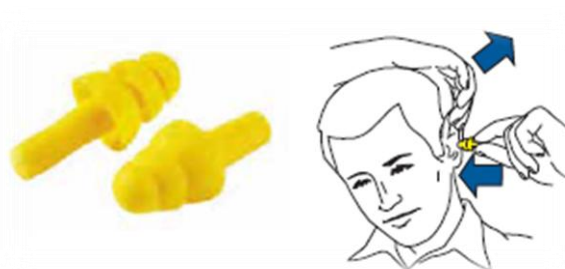
para assim o posicionar facilmente.

5. A coluna sem fios emissora do sinal de alarme Jawbone Jambox foi suspensa no teto da câmara audiométrica, a uma distância média de 15 cm relativamente aos ouvidos dos indivíduos que irão participar nos ensaios.
6. Ligar a coluna Jawbone Jambox primindo o botão lateral. Primir também o botão “redondo” na parte de cima da coluna (esta emite uma mensagem relativa à carga da bateria). O sinal de alarme a usar tem uma intensidade de 68 dB(A) e é emitido através desta coluna que é acionada por um computador com sistema “Bluetooth”.
7. A cadeira é colocada dentro da cabine audiométrica de modo a que os participantes ficassm voltadas para a porta.
8. Mostrar aos participantes do ensaio como abrir a porta da cabine audiométrica da parte de dentro.
9. Mostrar o ruído de fundo e o sinal de alarme aos participantes do ensaio. Durante o ensaio, solicitar-lhes que levantem o braço direito quando ouvirem o sinal de alarme.
10. Convidar os participantes a sentarem-se dentro da cabine audiométrica e dar início ao ensaio.
11. Colocar os tampões auditivos ou o abafador passivo ou abafador ativo conforme ordem estabelecida na tabela V.8 (Anexo V). Solicitar aos participantes que ajustem os equipamentos de proteção auditiva aos seus ouvidos. Para tal “fornecer” ruído de fundo de modo a que os participantes “adaptem” os protetores auditivos aos ouvidos. No caso do abafador ativo colocar o potenciômetro no máximo e os microfones voltados para a frente (para a porta da cabine audiométrica). Colocar os protetores do tipo abafador de acordo com a figura V.17:



**Figura V.17** – Colocação dos abafadores (reproduzido de 3M, 2009).

No caso dos tampões auditivos coloca-los de acordo com a imagem abaixo (figura V.18):



**Figura V.18** – Colocação dos tampões auditivos (reproduzido de 3M, 2009).

12. Fechar a porta da cabine audiométrica.
13. Colocar o potenciômetro do “channel one” do amplificador na posição 81,6 dB(A).
14. Colocar o botão do gerador de ruído de fundo da posição “cal”.
15. Dar a ordem de emissão do sinal de alerta no computador. Emitir várias vezes o sinal de alarme (com intervalos de tempo diferentes) até ter a certeza que a pessoa ouve ou não este sinal. Se a pessoa ouvir o sinal de alarme (levantar o braço direito) então proceder à sua anotação na respetiva folha de registo. Se não ouvir passar para o ponto 16.

A nomenclatura de registo de resultados a utilizar é a seguinte:

Assinalar 0 – Não ouve o sinal de alarme

Assinalar 1 – Ouve o sinal de alarme

16. Reduzir a intensidade do ruído de fundo em 5 dB de cada vez no respetivo gerador de ruído até que o participante levante o braço a confirmar que ouviu o sinal de alarme

entretanto emitido. Repetir este procedimento várias vezes para ter a certeza que o sujeito identificou, ou seja, ouviu o sinal de alarme. Proceder aos espetivos registos.

17. Reduzir substancialmente o ruído de fundo (menos 35 dB(A)) e abrir a porta da cabine audiométrica (para não expor as pessoas a 81,6 dB(A))
18. Colocar o outro equipamento de proteção auditiva e ajusta-lo aos ouvidos (ver ponto 11) e fechar a porta da cabine audiométrica. Repetir o procedimento a partir do numero 14 até ao ponto 18.

Terminado este teste proceder de igual forma para a terceira condição de proteção.

19. Terminado o ensaio colocar o botão do gerador de ruído na posição “cal” e depois desligá-lo.
20. No amplificador colocar o potenciómetro do “channel one” na posição 0 e depois desligá-lo.
21. Por fim, desligar a corrente elétrica que alimenta todo o conjunto.
22. Desligar também a coluna sem fios Jawbone Jambox.

## ANEXO V – ORDEM DE UTILIZAÇÃO DOS DIFERENTES PROTETORES NA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS



Universidade do Minho | Mestrado em Engenharia Humana

**Tabela V.8** – Ordem de utilização dos diferentes protetores na realização dos ensaios.

<b>Participante</b>	<b>Abafador Passivo</b>	<b>Tampão Auditivo</b>	<b>Abafador Ativo</b>
1	1º	2º	3º
2	3º	2º	1º
3	2º	1º	3º
4	1º	3º	2º
5	2º	3º	1º
6	3º	1º	2º
7	1º	2º	3º
8	2º	3º	1º
9	3º	1º	2º
10	1º	2º	3º
11	2º	3º	1º
12	3º	1º	2º
13	1º	2º	3º
14	2º	3º	1º
15	3º	1º	2º
16	1º	3º	2º
17	2º	3º	1º

**Tabela V.8** – Ordem de utilização dos diferentes protetores na realização dos ensaios.

(continuação)

<b>Participante</b>	<b>Abafador Passivo</b>	<b>Tampão Auditivo</b>	<b>Abafador Ativo</b>
18	3º	1º	2º
19	1º	2º	3º
20	2º	3º	1º
21	3º	1º	2º
22	1º	2º	3º
23	2º	3º	1º
24	3º	1º	2º
25	1º	2º	3º
26	3º	1º	2º

## ANEXO VI – TABELA DE REGISTO DAS RESPOSTAS DE CADA PARTICIPANTE



Universidade do Minho | Mestrado em Engenharia Humana

Participante	Abafador Passivo				Tampão Auditivo				Abafador Ativo "on"				
	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	- 20 (dB)
1	0-0-0	0-0-0	1-1-1	1	0-0-0	0-0-0	1-1-1	1	0-0-0	0-0-0	0-0-0	1-1-1	1
	–	0-0	1-1-1	–	–	0-0	1-1	1	–	0-0	0-0	1	–
2	0-0	0-0	1-1	1	0-0-0	0-0	1-1-1	1	0-0	0-0-0	0-0-0	1-1	1-1
	–	0-0-0	1-1	–	–	0-0-0	1-1	1	–	0	0-0	1-1	1
3	0-0	0-0	1-1	1	0-0-0	0-0	1-1-1	1	0	0-0	0-0-0	1-1	1-1
	–	0-0	1-1-1	–	–	0-0	1	1	–	0	0-0	1-1	1
4	0-0	0-0	1-1	1	0-0	1-1	1	–	0-0	1-1-1	1-1	–	–
	–	1-1-1-1	1-1	–	–	1-1-1	1	–	0	1-1-1-1	1	–	–

Participante	Abafador Passivo				Tampão Auditivo				Abafador Ativo "on"				
	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	- 20 (dB)
5	0-0	0-0-0	1-1-1	1	0-0	0-0-0	0-1-1	1	0-0	0-0-0	0-0-0	1-0-0	1
	-	0-0	1-1-1-1	-	-	0-0	1-1-1	-	-	0	0-0	1-1-1-1	1
6	0-0	0-0	1-1	1-1	0-0	0-0	0-1-1	1	0	0-0	0-0	1-1	1
	-	0-0	1	-	-	0-0	1-1	-	-	0	0-0-1	1	-
7	0-0	0-0	0-1-1	1	0	0-0	0-1-1	1	0-0	0-0	0-0-0	1-1	1
	-	0-0	1-1	-	-	0	1-1	-	-	0	0	1	-
8	0-0	0-1-1	1-1	1	0-0	1-0-1-1	1	-	0	0-0	1-1-1	1-1	-
	-	1-1	1	-	-	1	-	-	-	0-0	1-1-1	-	-
9	0	0-0-1	1-1-1	1	0-0	0-0	1-1-1	1	0	0-0-0	0-0-1	1-1	-
	0	0-0-0	1	-	-	0-0	1	-	-	0-0	1-1-1-1	1	-
10	0-0	0-0-0	1-1-1	1-1	0	0-0	0-1-0	1-1	0	0-0	0-0-0	1-1	1
	-	0-0-1-1	1	-	-	0	0-0-0	1	-	-	0-0	1	-
11	0	0-1-1	1-1-1	-	0-0	0-0-1-0	1-1	1	0	0-0-0	1-1-1	1	-
	-	0-0	1-1	-	-	0-0	1-1	-	-	0-0	1-1	-	-
12	0	0-0	1-1	1	0-0	0-1-1	1	-	0-0	0-0-0-0	0-1-1	1	-
	-	0-0	1-1	-	-	1-0-1	-	-	-	0	1-1	-	-
13	0-0	0-1-1	1-1	1	0-0	0-0-1	1-1	1	0	0-0-0	0-1-1-1	-	-
	-	1-1-1-1	1	-	-	0-0	1	-	-	0-0	1-1	-	-
14	0-0	0-0-1	1-1-1	-	0	0-0-0	1-1	1	0-0	0-0-0	1-1	-	-
	-	1-1-1-1	-	-	-	0-0	1	-	-	0	1-1	-	-
15	0	0-1-1	1-1-1	-	0-0	0-0-0	0-0-0	0-1-1	0	0-0-0	0-1-1	-	-
	-	0-1-1	1-1	-	-	0	1-1-1-1	1	-	0	1-1	-	-



Participante	Abafador Passivo				Tampão Auditivo				Abafador Ativo "on"				
	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	CAL (dB)	- 5 (dB)	- 10 (dB)	- 15 (dB)	- 20 (dB)
16	0	0-0-0	0-1-1	1	0	0-0	1-1-1	—	0	0-0	0-0-0	1-1	—
	—	0	1-1	—	—	0	1	—	—	0	1-1-1-1	—	—
17	0	0-1-1-0	1-1	—	0-0	0-0-1	1-1-1	—	0	0-0-0	1-1-1	1-1	—
	—	1-1	—	—	—	1-1-1	1	—	—	—	1-1-1-0	—	—
18	0-0	1-1-1	1	—	0-0	1-1-1	1	—	0	0-1-0	1-1-1	—	—
	0	1	—	—	0	1-1	—	—	0	1-1-1	—	—	—
19	0-0	1-1-1	1	—	0-0	0-0-0	1-1-1	—	0	0-0-0	1-1-1	—	—
	0	1	—	—	0	0-1-1	1	—	—	0	—	—	—
20	0-0	0-0-0	1-1-1	1	0	1-0-0	1-1-1	—	0-0	0-0-0	0-0-0	0-1-1	—
	—	0-1	—	—	—	0-0-1	1	—	—	—	0-0-0-1	1-1	—
21	0	0-1-1	1	—	0	0-0-0	0-1-1	1	0	0-0	1-1	—	—
	0	1-1	—	—	—	0	1	—	—	0-0	1	—	—
22	0	1-1	1	—	0-0	0-0-0	1-1	1	0-0	0-0-0	1-1	—	—
	0	1-1	—	—	—	0	1-1	—	—	0	1-1-0	—	—
23	0-0	0-0-1-1	1	—	0-0	1-1	1	—	0-0	0-0	0-0-1-1	1	—
	0	1-1	—	—	0	1-1	—	—	—	1-1-1-1	1-1	—	—
24	0	0-0-0	1-0-1-1	1	0	0-0	0-0	1-1	0	0-0	1-1	1	—
	—	0	1	—	—	0-0	1-1-1	—	—	0	1-1-0-1	—	—
25	0	0-0-1	1-1	1	0	1-1-1	—	—	0	0-0-0	0-1-1	1	—
	—	1-1-1-1	1	—	0	1	1	—	—	0	1-1-0-1	—	—
26	0-0	0-0-0	1-1	1-1	0-0	1-1-0	1-1-1	—	0	0-0-0	1-1	1-1	—
	—	0-0	1-1-1	—	—	0-0-0	1-1	1	—	0-0	1-1-0	—	—



## ANEXO VII – CÁLCULO ESTATÍSTICO 1: QUI-QUADRADO

Os dados registados nas tabelas abaixo foram obtidas através do programa SPSS.

**Condição de Proteção \* Redução de Ruído (dB) Crosstabulation**

		Redução de Ruído (dB)			Total	
		5	10	15		
Condição de Proteção	Tampão Auditivo	Count	8	17	1	26
		% within Condição de Proteção	30,8%	65,4%	3,8%	100,0%
		% within Redução de Ruído (dB)	33,3%	37,8%	11,1%	33,3%
	Abafador Passivo	Count	13	13	0	26
		% within Condição de Proteção	50,0%	50,0%	0,0%	100,0%
		% within Redução de Ruído (dB)	54,2%	28,9%	0,0%	33,3%
	Abafador Ativo	Count	3	15	8	26
		% within Condição de Proteção	11,5%	57,7%	30,8%	100,0%
		% within Redução de Ruído (dB)	12,5%	33,3%	88,9%	33,3%
Count		24	45	9	78	

### Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
<b>Pearson Chi-Square</b>	<b>19,450</b>	<b>4</b>	<b>,001</b>
Likelihood Ratio	20,769	4	,000
Linear-by-Linear Association	7,080	1	,008
N of Valid Cases	<b>78</b>		

#### Definição das hipóteses

- Hipótese nula:  $H_0$  = A redução do ruído de fundo é independente do protetor auditivo utilizado.

- Hipótese alternativa:  $H_1$  = A redução do ruído de fundo é dependente do protetor auditivo utilizado.

#### Tomada de decisão: Rejeita-se $H_0$ se $Q > C$

$$\text{Graus de liberdade} = (a-1)(b-1) = (3-1)(3-1) = 4$$

a = número de linhas

$$\text{Nível de significância} = \alpha = 5\% (0,05)$$

b = número de colunas

$$Q = 19,45$$

$$C = X^2_{\alpha, (a-1)(b-1)} = X^2_{0,05; 4} = 9,48 \text{ (tabela anexo IX)}$$

Como  $Q > C$  ( $19,45 > 9,48$ ) então rejeita-se  $H_0$ , logo a redução do ruído de fundo depende do protetor auditivo utilizado.

Sendo que a redução do ruído de fundo depende da condição de proteção usada tornou-se necessário saber se não existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB. Tendo em consideração  $\alpha=5\%$  verifica-se que  $p < \alpha$  pelo que existe diferença significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de aviso quando se reduziu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB, tal como se pode verifica abaixo:

- Hipótese nula:  $H_0$  = Não existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB

- Hipótese alternativa:  $H_1$  = Existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB.

Tomada de decisão: Rejeita-se  $H_0$  se  $p < \alpha$

Nível de significância =  $\alpha = 5\%$  (0,05)

$p = 0,001$

Como  $p < \alpha$  ( $0,001 < 0,05$ ) então rejeita-se  $H_0$ , logo existe diferença significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme quando se reduziu o ruído de fundo em 5, 10 e 15 dB.

## ANEXO VIII – CÁLCULO ESTATÍSTICO 2: QUI-QUADRADO

Os dados registados nas tabelas abaixo foram obtidas através do programa SPSS.

**Condição de Proteção \* Redução de Ruído (dB) Crosstabulation**

		Redução de Ruído (dB)			Total	
		5	10	15		
<b>Condição de Proteção</b>	<b>Tampão Auditivo</b>	<b>Count</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	26
		<b>% within Condição de Proteção</b>	<b>30,8%</b>	<b>65,4%</b>	<b>3,8%</b>	100,0%
		<b>% within Redução de Ruído (dB)</b>	<b>38,1%</b>	<b>56,7%</b>	<b>100,0%</b>	50,0%
	<b>Abafador Passivo</b>	<b>Count</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	26
		<b>% within Condição de Proteção</b>	<b>50,0%</b>	<b>50,0%</b>	<b>0,0%</b>	100,0%
		<b>% within Redução de Ruído (dB)</b>	<b>61,9%</b>	<b>43,3%</b>	<b>0,0%</b>	50,0%
		<b>Count</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>52</b>

**Chi-Square Tests**

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
<b>Pearson Chi-Square</b>	<b>2,724</b>	<b>2</b>	<b>,256</b>
Likelihood Ratio	3,123	2	,210
Association	2,468	1	,116
N of Valid Cases	<b>52</b>		

- Hipótese nula:  $H_0$  = Não existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme com o tampão auditivo e o número de pessoas que o identificaram com o abafador passivo.

- Hipótese alternativa:  $H_1$  = Existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme com o tampão auditivo e o número de pessoas que o identificaram com o abafador passivo.

Tomada de decisão: Rejeita-se  $H_0$  se  $p < \alpha$

Nível de significância =  $\alpha = 5\%$  (0,05)

$p = 0,256$

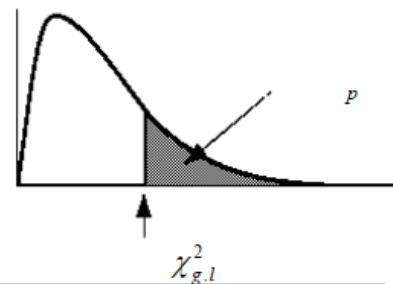
Como  $p > \alpha$  ( $0,256 > 0,05$ ) então aceita-se  $H_0$ , logo não existe diferença estatisticamente significativa entre o número de pessoas que identificaram o sinal de alarme com o tampão auditivo e o número de pessoas que o ouviram com o abafador passivo.

# ANEXO IX – PONTOS CRÍTICOS DA DISTRIBUIÇÃO $\chi^2$



Universidade do Minho | Mestrado em Engenharia Humana

Pontos críticos da distribuição  $\chi^2$



g.l.	0,995	0,990	0,975	0,950	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,00004	0,00016	0,00098	0,00393	3,84146	5,02390	6,63489	7,87940
2	0,01002	0,02010	0,05064	0,10259	5,99148	7,37778	9,21035	10,59653
3	0,07172	0,11483	0,21579	0,35185	7,81472	9,34840	11,34488	12,83807
4	0,20698	0,29711	0,48442	0,71072	9,48773	11,14326	13,27670	14,86017
5	0,41175	0,55430	0,83121	1,14548	11,07048	12,83249	15,08632	16,74965
6	0,67573	0,87208	1,23734	1,63538	12,59158	14,44935	16,81187	18,54751
7	0,98925	1,23903	1,68986	2,16735	14,06713	16,01277	18,47532	20,27774
8	1,34440	1,64651	2,17972	2,73263	15,50731	17,53454	20,09016	21,95486
9	1,73491	2,08789	2,70039	3,32512	16,91896	19,02278	21,66605	23,58927
10	2,15585	2,55820	3,24696	3,94030	18,30703	20,48320	23,20929	25,18805
11	2,60320	3,05350	3,81574	4,57481	19,67515	21,92002	24,72502	26,75686
12	3,07379	3,57055	4,40378	5,22603	21,02606	23,33666	26,21696	28,29966
13	3,56504	4,10690	5,00874	5,89186	22,36203	24,73558	27,68818	29,81932
14	4,07466	4,66042	5,62872	6,57063	23,68478	26,11893	29,14116	31,31943
15	4,60087	5,22936	6,26212	7,26093	24,99580	27,48836	30,57795	32,80149