



FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

ESTUDO DA MELHORIA DA AUDIÇÃO ATRAVÉS DA ALTERAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS SONORAS

Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques

Coimbra
2007

Relatório de Projecto de 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques

ESTUDO DA MELHORIA DA AUDIÇÃO ATRAVÉS DA ALTERAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS SONORAS

Orientador: Prof. Doutor António Paiva, Director do Serviço de Otorrinolaringologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra

Supervisor: Prof. Doutor Emanuel Ponciano, docente da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

Supervisor: Engenheiro Francisco Caramelo, docente da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

Coimbra

2007

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. António Paiva, pela sua disponibilidade, orientação, confiança e apoio constantes ao longo de todo este trabalho.

Ao Prof. Dr. Emanuel Ponciano, pela sua disponibilidade e orientação.

Ao Eng. Francisco Caramelo, pela sua disponibilidade, orientação, colaboração, compreensão, confiança, incentivo, pelos seus preciosos conselhos, sugestões e por toda a ajuda prestada.

Ao Dr. Pedro Tomé, pela disponibilidade e colaboração.

Ao Serviço de Otorrinolaringologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra e a todos os técnicos de audiologia e funcionários do Serviço de Exames Complementares do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra expresso, desta forma, o meu reconhecimento pela valiosa colaboração, ajuda e disponibilidade, sem as quais este trabalho não teria sido realizado.

À Dr. Bárbara Oliveiros, pela disponibilidade e ajuda prestada.

Aos meus colegas Gil e Cláudia, pela amizade, paciência e bom ambiente de trabalho.

A todos os indivíduos avaliados, pela preciosa colaboração e paciência.

A todos aqueles que, de uma forma directa ou indirecta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho surge no âmbito da disciplina de Projecto do 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica, licenciatura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em colaboração com a Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Foi realizado em colaboração com o IBILI - Instituto Biomédico de Investigação em Luz e Imagem e com os Hospitais da Universidade de Coimbra.

O principal meio de comunicação com o ambiente que o rodeia utilizado pelo Homem é a linguagem. Porém, o desenvolvimento desta faculdade não seria possível sem a função auditiva, capacidade sensorial que nos permite detectá-la, reconhecê-la e transmiti-la. A perda de audição é comum em indivíduos com idade avançada, que apresentam uma perda neurosensorial característica de presbiacusia. Actualmente, este problema é, em parte, solucionado através da utilização de próteses auditivas. Como a população mundial está cada vez mais envelhecida, o desenvolvimento e aperfeiçoamento das próteses auditivas tem sido uma constante nas últimas décadas. Desta forma e, numa tentativa de contribuir para este desenvolvimento, pretende-se com este trabalho avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um dispositivo que altere a frequência dos sons para uma banda de frequências cuja audição seja mais próxima do normal.

O trabalho dividiu-se em duas etapas: verificação da perda de audição nas frequências mais agudas nas pessoas que apresentam perda auditiva neurosensorial e avaliação da viabilidade funcional do desenvolvimento de um desvio (*shift*) de frequências que consiga mover um sinal em frequência.

Para a verificação da perda de audição, foi feita uma avaliação audiológica, nomeadamente através de audiometrias vocais. Para a realização deste exame foram seleccionadas 8 listas de estímulos, gravadas em duas vozes, uma feminina e uma masculina. A avaliação foi feita a uma amostra de 20 indivíduos que foram divididos em dois grupos: um Grupo Controlo que apresentava audição normal e um Grupo de Estudo que apresentava perda auditiva neurosensorial característica de presbiacusia.

Como principal resultado salientamos a ausência de diferenças estatisticamente significativas na percepção das duas vozes pelos dois grupos.

Para a avaliação da viabilidade do desenvolvimento do *shift* de frequências criou-se uma aplicação informática de deslocamento das frequências de um sinal. Esta aplicação revelou-se viável e funcional, apresentando mínima distorção.

Abstract

This work is the final year project of the Biomedical Engineering degree. It is submitted both to the Faculty of Sciences and Technology and Faculty of Medicine of the University of Coimbra. Most of the tasks necessary to complete the project were executed in IBILI (Institute of Biomedical Research in Light and Image) and, in the University Hospital of Coimbra.

Oral language is the preferred method to communicate of humankind. And, since the auditory function is absolutely necessary to the development and use of this skill, its loss severely impacts on the life of who suffers it. Unfortunately, elder people suffer from hearing loss, which generally present a sensorineural loss characteristic of presbycusis. This problem has being solved by the use of hearing aids, whose development and improvement has been growing foster by the aging of population.

The main goal of the study herein described is to evaluate the scientific viability of designing a device that shifts the sound frequency to a range that can be understood by a person that suffers from presbycusis. The work was divided into two parts. Firstly, we developed a scheme to measure the differences of perception of oral words in two different groups. One of these groups - control group - was formed by subjects that presented normal hearing, whereas the other group - study group - was formed by persons that presented sensorineural hearing loss. All the subjects were submitted to several auditory examinations in order to confirm their status (healthy or suffering from hearing loss). In order to evaluate the level of perception caused by sounds with different frequencies speech audiometries examinations were executed using 8 lists of dissyllabic words that were previously recorded with two different voices (one male and one female). Subjects were instructed to repeat the word after hearing it. Thus the level of perception was determined by the percentage of correct repeated words.

Secondly, a computational algorithm that shifts frequency of the sound was implemented in Matlab.

We concluded that the differences on the level of perception of the words for the male and female voices have no statistical significance. On the other hand the developed algorithm for shifting the frequency revealed that minimal distortion is produced by the displacement of the sound frequency.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	IV
1. Introdução	1
1.1 Objectivo	4
2. Anatomia e Fisiologia do Sistema Auditivo.....	6
2.1 Ouvido Externo	7
2.2 Ouvido Médio	8
2.3 Ouvido Interno.....	11
2.4 Mecanismo de Transdução do Som	14
2.5 Vias Auditivas Centrais	16
3. Avaliação Auditiva Periférica	19
3.1 Timpanometria	21
3.2 Audiometria tonal liminar	22
3.3 Audiometria Vocal	25
4. Material e Metodologia	28
4.1 Descrição da Amostra.....	29
4.2 Exames efectuados para avaliação dos critérios de inclusão	30
4.3 Audiometria Vocal	31
4.3.1 Listas de palavras.....	31
4.3.2 Gravação das listas de palavras	31
4.3.3 Realização do exame.....	33
4.3.4 Análise do sinal e <i>shift</i> de frequências.....	35
5. Resultados	42
5.1 Exames efectuados para avaliação dos critérios de inclusão	42
5.2 Audiometria Vocal	44
5.2.1 Análise descritiva dos limiares de percepção auditiva.....	44
5.2.2 Comparação de percentagem de acertos dos dois grupos para cada género de voz.....	46
5.2.3 Comparação da percentagem de acertos consoante o género	

da voz para cada grupo	48
5.3 Análise do sinal e <i>shift</i> de frequências	50
5.3.1 <i>Shift</i> de frequências.....	50
5.3.2 Análise do sinal	51
6. Discussão.....	53
7. Conclusão	56
Referências Bibliográficas	58
Bibliografia.....	61
Anexo 1 - Pedido de autorização do estudo.....	62
Anexo 2 - Protocolo.....	63
Anexo 3 - Documento de informação ao doente e Consentimento informado	66
Anexo 4 - CD de dados	

Índice de Figuras

Figura 1 - Anatomia do Sistema Auditivo Periférico	6
Figura 2 - Efeitos acústicos do ouvido externo devido à amplificação das ondas sonoras pelo pavilhão auditivo e pelo sistema canal auditivo externo-tímpano ...	8
Figura 3 - Anatomia do ouvido médio	9
Figura 4 - Cadeia de ossículos que faz a ligação da cavidade timpânica ao ouvido interno.....	9
Figura 5 - Anatomia do ouvido interno	12
Figura 6 - Cóclea	12
Figura 7 - Anatomia da cóclea	13
Figura 8 - Anatomia do Órgão de Corti	14
Figura 9 - Esquema mecânico da transdução do som no ouvido médio e interno	15
Figura 10 - Padrões vibratórios da membrana basilar ao longo do seu percurso, isto é, da base para o ápice e vice-versa	15
Figura 11 - Representação esquemática das vias auditivas.....	17
Figura 12 - Curvas de Fletcher e Munson de sensibilidade auditiva. Cada curva representa um nível de intensidade. A curva com o menor valor representa o limiar de audibilidade (0 dB SPL) e a com o maior valor representa o limiar de dor (120 dB SPL)	21
Figura 13 - Exemplos dos cinco tipos de timpanogramas que se podem obter através de uma timpanometria - timpanograma do tipo A, B, C, A _s e A _d	22
Figura 14 - Exemplos dos quatro tipos de audiogramas tonais. (Audiograma A1 - audição normal, Audiograma A2 - perda condutiva, Audiograma A3 - perda neurosensorial e Audiograma A4 - perda mista)	24
Figura 15 - Audiograma vocal de um indivíduo com audição normal com a localização do limiar de detecção, do limiar de reconhecimento da fala (SRT) e do índice percentual de reconhecimento da fala (IPRF)	27
Figura 16 - Interface de gravação criada utilizando a aplicação GUIDE do <i>software</i> Matlab 7.1 para gravar as 8 listas de palavras nas duas vozes (voz feminina e voz masculina).....	32
Figura 17 - Aparelhagem utilizada para a realização da audiometria vocal (sistema computador-placa de som-audiómetro)	33

Figura 18 - Interface com as listas de palavras criada utilizando a aplicação GUIDE do <i>software</i> Matlab 7.1 para a realização da audiometria vocal	34
Figura 19 - Interface criada utilizando a aplicação GUIDE do <i>software</i> Matlab 7.1 para a análise de um sinal no espaço das frequências e com o objectivo de fazer um <i>shift</i> de frequências ao mesmo	35
Figura 20 - Representação gráfica do sinal no espaço tempo	37
Figura 21 - Análise do sinal no espaço tempo (frequência de amostragem, número de amostras e valor de rms). É também possível ouvi-lo	38
Figura 22 - Análise do sinal no espaço das frequências (aplicação do algoritmo FFT, ampliação e <i>shift</i> de frequências da zona do sinal seleccionada). É também possível a aplicação de um filtro passa-baixo com uma frequência de corte variável.....	38
Figura 23 - Representação gráfica do espectro de potência	39
Figura 24 - Representação gráfica (energia em função da frequência real) e <i>shift</i> de frequências da zona do sinal seleccionada. O sinal é deslocado para a direita (altas frequências) ou para a esquerda (baixas frequências)	39
Figura 25 - Conversão do sinal para o espaço tempo utilizando o algoritmo IFFT. É também possível verificar se o sinal ficou calibrado segundo o valor de rms, é possível guardá-lo e ouvi-lo	40
Figura 26 - Representação gráfica do sinal transformado no espaço tempo	40
Figura 27 - Exemplo de um timpanograma do tipo A obtido neste estudo durante a realização de uma timpanometria	42
Figura 28 - Audiogramas de caracterização do Grupo Controlo segundo os limiares auditivos médios (dB HL) (linha a vermelho) e respectivo desvio padrão (linhas a verde) obtidos nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, para os dois ouvidos.....	43
Figura 29 - Audiogramas de caracterização do Grupo de Estudo segundo os limiares auditivos médios (dB HL) (linha a vermelho) e respectivo desvio padrão (linhas a verde) obtidos nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, para os dois ouvidos.....	43
Figura 30 - Representação gráfica do sinal/palavra “alma” na voz feminina, no espaço tempo, no espaço das frequências e selecção da zona do sinal a deslocar 250 Hz para as baixas frequências	50

Figura 31 - Representação gráfica do sinal/palavra “alma” na voz feminina deslocado 250 Hz para as baixas frequências e novamente no espaço das frequências, já modificado.....	51
Figura 32 - Espectro de frequência da palavra “alma” na voz feminina	52
Figura 33 - Espectro de frequência da palavra “alma” na voz masculina	52

1. Introdução

Este trabalho surge no âmbito da disciplina de Projecto do 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica, licenciatura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em colaboração com a Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Foi realizado em colaboração com o IBILI - Instituto Biomédico de Investigação em Luz e Imagem e com os Hospitais da Universidade de Coimbra.

A linguagem é a faculdade que nos permite comunicar, falar, entender, ler e escrever. Possibilita o pensamento no sentido lato e permite a comunicação do pensamento assim elaborado. O mecanismo de aprendizagem da linguagem depende de muitos factores entre os quais se destaca a função auditiva. As pessoas pensam falando consigo próprias, ouvindo-se a elas próprias.

A audição é uma capacidade sensorial fulcral que nos permite compreender o mundo que nos rodeia, conhecermo-nos e expressarmo-nos aos outros, estabelecendo desta forma o início dos vínculos sociais, interacções inter e intra-pessoais. A audição também possibilita a detecção e reconhecimento dos sons ambientais e, por ser um sistema binaural, permite a identificação da fonte e a localização de um som num espaço tridimensional, devido à integração das informações provenientes dos dois ouvidos.

Em 2003, Kiessling *et al* [1], tendo por base a Classificação Internacional do Funcionalidade, Incapacidade e Saúde da Organização Mundial de Saúde [2], definiu quatro processos que descrevem o processamento auditivo e que resultam em funções cognitivas (como a memória, a atenção e a linguagem): *ouvir*, função passiva que providencia o acesso ao mundo auditivo via a percepção sonora; *escutar*, processo da capacidade auditiva direccionado para actividades intencionais com o propósito de provocar esforço mental; *compreender*, recepção unidireccional da informação, sentido e objectivo; e *comunicar*, transferência bidireccional da informação, sentido ou intenção, entre duas ou mais pessoas. [3]

Desempenhando a sensibilidade auditiva um papel de extrema

importância no processo de comunicação entre os indivíduos, contribuindo para o relacionamento social, a sua perda traduz-se, naturalmente, num enorme impacto no quotidiano e no relacionamento com o mesmo. Existem quatro tipos de perda auditiva: a neurosensorial, a condutiva, a central e a mista. A perda neurosensorial ocorre devido à degeneração das células ciliadas sensoriais da cóclea e do nervo auditivo. A condutiva é devida a interferências na transmissão do som do ouvido médio para o ouvido interno. A central tem por base alterações nos mecanismos de processamento da informação sonora no tronco cerebral (entre o ouvido interno e o córtex auditivo) ou no próprio córtex auditivo. E, a mista resulta da combinação da perda neurosensorial com a condutiva. [4]

A perda auditiva é, infelizmente, comum em indivíduos com idade mais avançada, uma consequência do processo de envelhecimento o que, aliás, geralmente também se traduz por uma perda neurosensorial nas altas frequências, simétrica e bilateral, com o nome de presbiacusia [3]. Esta resulta da degeneração de células ciliadas internas e externas da zona basal da cóclea (perda sensorial) [4] e da perda de células ganglionares e nervosas (perda neural). A presbiacusia afecta cerca de um terço dos indivíduos com idade acima dos 65 anos, percentagem que não estranha tendo em conta o aumento da esperança média de vida a que se tem vindo a assistir [3].

Para determinar o tipo e grau da perda auditiva realizam-se testes auditivos periféricos como a timpanometria para avaliar a integridade do sistema do ouvido médio (sistema tímpano-ossicular), a audiometria tonal liminar para determinar os limiares auditivos aéreos e ósseos e a audiometria vocal para determinar os limiares de percepção da linguagem oral. Estes testes permitem a determinação do grau da perda auditiva, do sítio de lesão no sistema auditivo periférico e da capacidade de um indivíduo de perceber a linguagem oral. [5]

Uma das soluções que tem sido adoptada para compensar a perda auditiva é a utilização de dispositivos amplificadores do som, as denominadas *próteses auditivas*. São dos meios mais utilizados na reabilitação auditiva de quem apresenta um défice de audição.

A maioria dos cidadãos utilizadores de próteses auditivas são indivíduos idosos [6]. Aliás, 70% das próteses são usadas por indivíduos acima dos 65 anos

[7; 8].

A necessidade de comunicar juntamente com o desenvolvimento tecnológico motivaram o desenvolvimento das próteses auditivas nos últimos 50 anos. Curiosamente, quem se debruçou sobre o seu desenvolvimento não foram as empresas do ramo, mas sim empresas de investigação e desenvolvimento. O primeiro aparelho só começou a ser comercializado em 1988. Inicialmente, apresentavam um funcionamento analógico que consistia basicamente apenas na amplificação do sinal sonoro. A introdução dos algoritmos de processamento digital de sinal permitiu a incorporação de novas características e até mesmo a mudança da forma de pensar a amplificação acústica [9]. Em 1999, 60 % dos aparelhos comercializados eram analógicos e 12 % digitais, enquanto que em 2003 a situação inverteu-se, passando 26 % a ser analógicos e 58 % digitais, para à qual também deve ter contribuído a diminuição de custos da electrónica digital [10]. A tecnologia digital utiliza métodos não-lineares para melhorar a recepção e o tratamento do sinal sonoro para pessoas com perda nas altas frequências, nomeadamente técnicas de compressão do sinal. De entre os resultados obtidos, encontram-se a redução do ruído, o cancelamento do *feedback* e um aperfeiçoamento da amplificação sonora [9]. No entanto, ainda é necessário efectuar melhoramentos, nomeadamente na forma de lidar com o ruído do vento e na utilização do aparelho auditivo em outras situações ruidosas; o futuro passa pela incorporação da tecnologia digital *wireless* [11].

De qualquer forma, o desenvolvimento faz-se na direcção de aparelhos personalizados que processem todos os sons prováveis no ambiente do utilizador e que ofereçam boa qualidade de percepção para o indivíduo que os utiliza. Toda esta filosofia está a ser direccionada no sentido de ter em conta que nem todas as pessoas são iguais, e que, mesmo aquelas com o mesmo tipo e grau de perda auditiva, têm com certeza vivências e mecanismos funcionais diferentes, os quais induzem respostas diversas ao mesmo tipo de terapêutica, seja por apresentarem um estilo de vida ou nível cognitivo diferente. Assim, a perda deve ser determinada não só pelo resultado dos testes audiométricos, mas também pelo mecanismo da mesma, não oferecendo um tratamento universal, mas sim uma terapia individual e direccionada. [3; 11]

1.1 Objectivo

Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das próteses auditivas, de forma a adequá-las às necessidades de quem delas necessita, pretende-se, com este trabalho, avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um dispositivo que altere a frequência dos sons para uma banda de frequências cuja audição seja mais próxima do normal. Mais concretamente, pretende avaliar-se a viabilidade científica/funcional de se construir um aparelho auditivo que altere as frequências sonoras de forma a que as pessoas com perda auditiva neurosensorial consigam perceber/ouvir melhor o mundo que as rodeia. Esta avaliação será feita de duas formas: uma para verificar a perda de audição nas frequências mais agudas nas pessoas que apresentam perda auditiva neurosensorial e, outra, para avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um *shift* de frequências que consiga mover um sinal mais agudo para frequências mais graves.

De forma a verificar a perda de audição dos indivíduos com perda neurosensorial, realizar-se-ão vários testes audiométricos, nomeadamente a audiometria vocal. Serão escolhidas listas de palavras a serem gravadas em duas vozes, uma masculina e uma feminina, assumindo-se que a voz masculina representa um sinal mais grave e a feminina um mais agudo. Os exames serão realizados em voluntários, divididos em dois grupos, um grupo controlo que apresente uma audição normal e um grupo de estudo que apresente perda auditiva neurosensorial. Avaliar-se-á o nível de percepção dos dois grupos às duas vozes tratando os resultados estatisticamente para aferir a existência ou ausência de diferenças estatisticamente significativas.

O desenvolvimento do *shift* de frequências será feito computacionalmente, utilizando para isso o *software* Matlab © 7.1.

Apesar deste trabalho apenas se debruçar na avaliação da viabilidade funcional, pode advogar-se que, caso se demonstre positivamente o propósito explanado, a viabilidade tecnológica e económica da construção destes dispositivos ganhariam importância e careceriam de uma análise sistemática. A viabilidade tecnológica já é aqui parcialmente abordada, nomeadamente na verificação da existência ou não de distorção significativa quando se faz o *shift*

de frequências. Contudo, seria obrigatório analisar outras características ao nível do *hardware*, quer sejam os aspectos electrónicos quer sejam os aspectos mecânicos. A viabilidade económica deveria ser também analisada, aferindo-se das vantagens económicas de uma eventual comercialização de um dispositivo deste género.

2. Anatomia e Fisiologia do Sistema Auditivo

A audição é a capacidade sensorial que nos permite reconhecer e comunicar com o ambiente que nos rodeia.

O órgão sensorial responsável pela audição é o ouvido. Este é um transdutor¹ muito eficiente, transformando a energia sonora captada do meio exterior em mecânica, passando pela hidráulica e finalizando num sinal eléctrico que é traduzido e interpretado pelo cérebro.

O ouvido está dividido em três partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. (Figura 1)

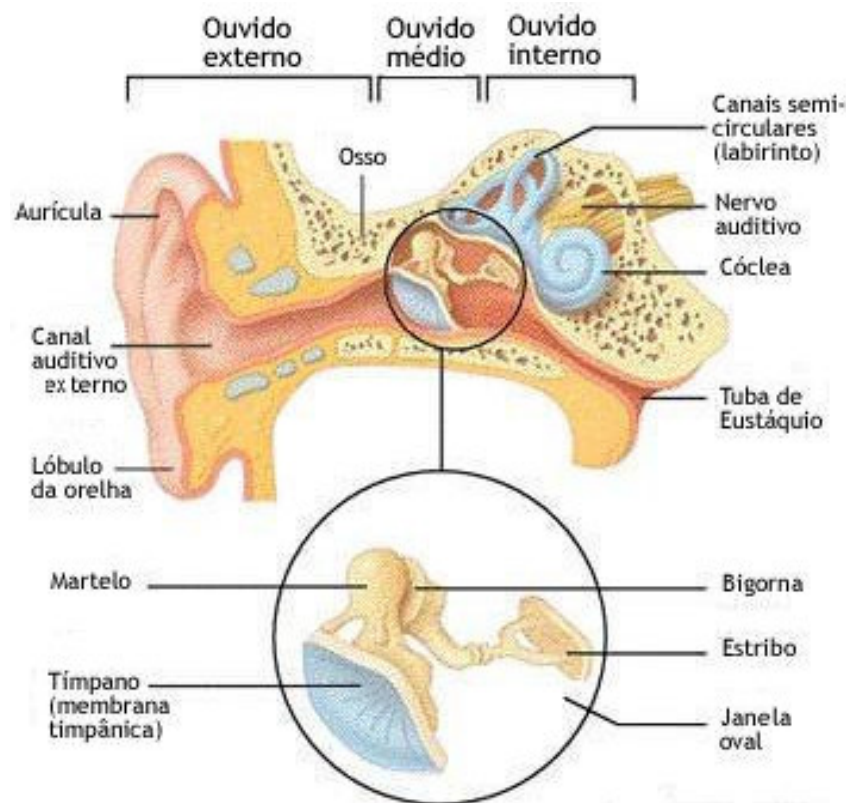


Figura 1 - Anatomia do Sistema Auditivo Periférico. (Retirado de [12])

¹ Aparelho que recebe de uma fonte energia de certa natureza e a transforma em outra espécie de energia. (in [25])

2.1 OUVIDO EXTERNO

O ouvido externo é formado pelo pavilhão auricular, pelo canal auditivo externo e por diversos meios de protecção física (pêlos, glândulas produtoras de cerúmen, etc).

Pavilhão auricular

O pavilhão auricular é um órgão par, situado infero-lateralmente no crânio, inserido pelo um terço anterior da sua face medial, com um ângulo cefalo-concal de aproximadamente 80° e com uma orientação antero-lateral. É constituído, principalmente, por um tipo de cartilagem elástica revestida de pele.

As suas principais funções são:

- **localização** da fonte sonora, que é apresentada sob a forma de ondas sonoras com diferentes fases e amplitudes;
- **captação** das ondas sonoras direccionando-as para o canal auditivo externo;
- **protecção** do canal auditivo externo e da membrana timpânica.

Canal auditivo externo

O canal auditivo externo é um canal em forma de cilindro, aberto para o exterior através do pavilhão auricular, tendo encerrado no seu interior o tímpano que, como um tabique membranoso, o separa do ouvido médio. Apresenta um comprimento de aproximadamente 25 mm na sua parede postero-superior e 30 mm na antero-inferior, devido à inclinação da membrana timpânica. É constituído por um canal fibrocartilaginoso no primeiro terço exterior e por um canal ósseo nos dois terços interiores. A pele do canal cartilaginoso apresenta folículos pilosos e glândulas sebáceas ceruminosas e a do canal ósseo é mais fina, não apresentando glândulas ceruminosas. [13]

As suas principais funções são:

- **protecção mecânica e térmica;**

- **condução** das ondas sonoras até à membrana timpânica que vibra em ressonância.

Para além das propriedades já descritas, o ouvido externo apresenta também propriedades acústicas. (Figura 2)

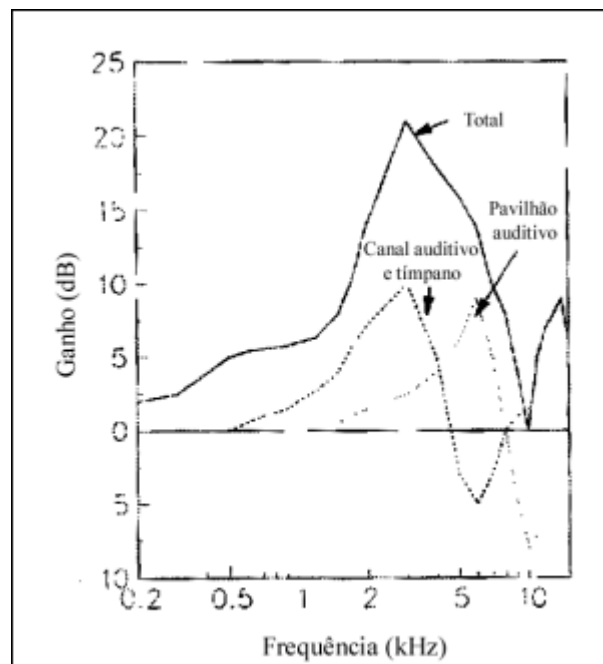


Figura 2 - Efeitos acústicos do ouvido externo devido à amplificação das ondas sonoras pelo pavilhão auditivo e pelo sistema canal auditivo externo-tímpano. (Retirado de [14])

A passagem das ondas sonoras pelo ouvido externo resulta numa amplificação sonora de aproximadamente 15 dB (dos 5 aos 20 dB) na gama de frequências entre os 1500 e os 7000 Hz. Isto devido à ressonância do pavilhão auditivo entre os 5000 Hz e os 7000 Hz e à ressonância do canal auditivo e do tímpano aos 3500 Hz. [14; 15]

2.2 OUVIDO MÉDIO

O ouvido médio começa na membrana timpânica e é constituído por múltiplas cavidades cheias de ar das quais se destacam a cavidade timpânica, a trompa auditiva ou trompa de Eustáquio e as cavidades ou células mastoideias.

Está situado no interior do osso temporal, excepto a porção cartilaginosa da trompa de Eustáquio. (Figura 3) [16]

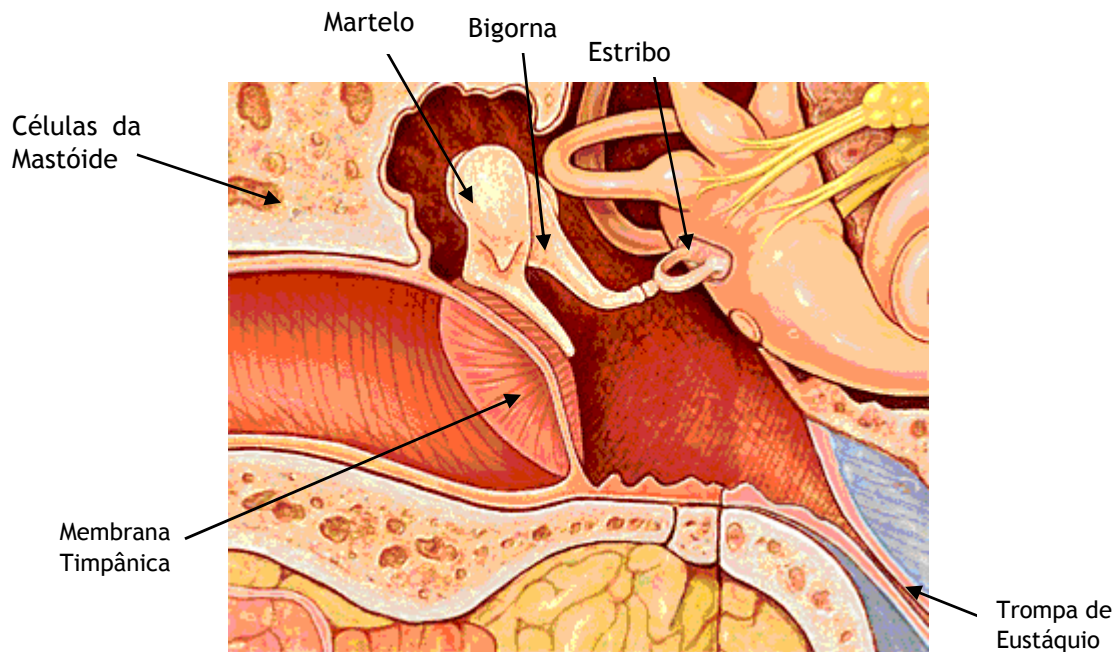


Figura 3 - Anatomia do ouvido médio. (Adaptado de [17])

Cavidade timpânica

A cavidade timpânica apresenta um aspecto paralelepípedo irregular com um comprimento de aproximadamente 15 mm e é composta por cinco faces ósseas e uma osteo-membranar. Começa na membrana timpânica, que separa a cavidade do ouvido externo e a ligação com o ouvido interno é feita através de uma cadeia ossicular constituída por três ossículos, o martelo, a bigorna e o estribo (Figura 4), que se encontram suspensos no ouvido médio através de ligamentos.

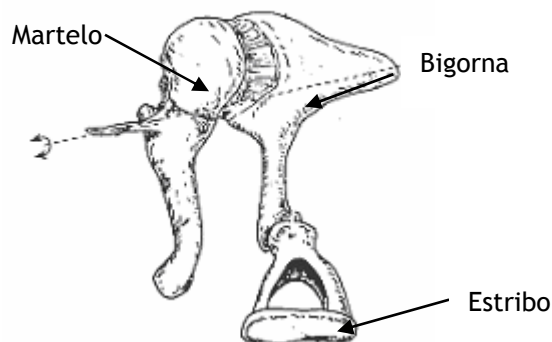


Figura 4 - Cadeia de ossículos que faz a ligação da cavidade timpânica ao ouvido interno. (Adaptado de [18])

A **membrana timpânica** é uma estrutura constituída por duas porções, a *pars tensa* e a *pars flaccida*. É uma membrana espessa, com várias camadas, uma lateral (escamosa), uma média (fibrosa) e uma medial (mucosa). A *pars tensa* apresenta as fibras da camada média em abundância, bem organizadas e mais espessas nos seus limites, enquanto que as fibras da *pars flaccida* são em menor número, mais desorganizadas e não se tornam mais espessas nos limites desta porção. Estas são as principais diferenças que distinguem a *pars tensa* que é densa e compacta, da *pars flaccida* que se apresenta mais frouxa. [13]

Quando as ondas sonoras atingem a membrana timpânica esta vibra e transmite o sinal para o primeiro dos três ossículos, o martelo, que vibra sincronizado com ela. O martelo transmite o sinal recebido para o segundo ossículo, a bigorna que, por sua vez, funciona como uma alavanca, transmitindo a vibração mecânica ao terceiro ossículo, o estribo, que está apoiado na janela oval, já parte constituinte do ouvido interno. [18]

Trompa de Eustáquio

A comunicação entre o ouvido médio e a cavidade bucofaríngea faz-se através da trompa de Eustáquio. Esta encontra-se normalmente fechada, abrindo-se durante a deglutição, a mastigação e o bocejo, permitindo a entrada de ar no ouvido médio, assegurando assim a igualdade de pressões entre a cavidade timpânica e o ar exterior. [15]

Cavidades mastoideias

As cavidades mastoideias são estruturas ósseas onde assentam o ouvido médio e a trompa de Eustáquio. As células mastoideias formam-se no **osso temporal**, que se divide em três partes, uma petrosa, uma escamosa e uma timpânica.

As principais funções do ouvido médio são:

- **adaptação de impedâncias**, devido à equalização das impedâncias ar-líquido que tem de ocorrer para que as ondas de pressão penetrem no

ouvido interno. Como a impedância acústica da água é muito maior que a do ar, sem um sistema destes, a maior parte das ondas sonoras seria reflectida na janela oval. Esta adequação dá-se devido à compensação da grande diferença de área de superfície entre a membrana timpânica e a janela oval, e da eficiência mecânica da cadeia de ossículos. A ausência deste mecanismo levaria a uma perda auditiva de 30 dB; [16; 18]

- **protecção** do ouvido interno, através da contracção de dois músculos, o tensor do tímpano e o estapédico, ligados ao martelo e ao estribo, respectivamente. A sua contracção permite reduzir os movimentos da cadeia ossicular e assim diminuir a sensibilidade do aparelho acústico. Esta acção protege o sistema auditivo contra sons prejudiciais que podem ser antecipados. [15]

2.3 OUVIDO INTERNO

O ouvido interno ou labirinto é uma estrutura neuromembranosa situada na porção petrosa do osso temporal, constituído por um labirinto ósseo que alberga, no seu interior, um sistema de estruturas membranosas que comunicam entre si, o chamado labirinto membranoso. Os dois labirintos têm uma porção posterior ou vestibular e uma anterior ou coclear. [13]

O **labirinto ósseo** consiste num conjunto de cavidades ósseas ligadas e preenchidas por um fluido, a perilinfa. O **labirinto membranoso** ou sistema endolinfático está encerrado no espaço perilinfático do labirinto ósseo e está preenchido por outro fluido, a endolinfa. (Figura 5) [13]

Os dois labirintos apresentam uma constituição idêntica, composta por um vestíbulo, três canais semicirculares (anterior, lateral e posterior) e pela cóclea, diferindo apenas na composição do vestíbulo e da cóclea. O vestíbulo, que no labirinto ósseo aparece sob a forma de uma cavidade ovóide com aproximadamente 4 mm de diâmetro, no labirinto membranoso contém duas vesículas, o utrículo e o sáculo. As porções da cóclea que fazem parte do labirinto ósseo são a escala vestibular e a timpânica, fazendo a escala média ou canal coclear parte do labirinto membranoso. [13]

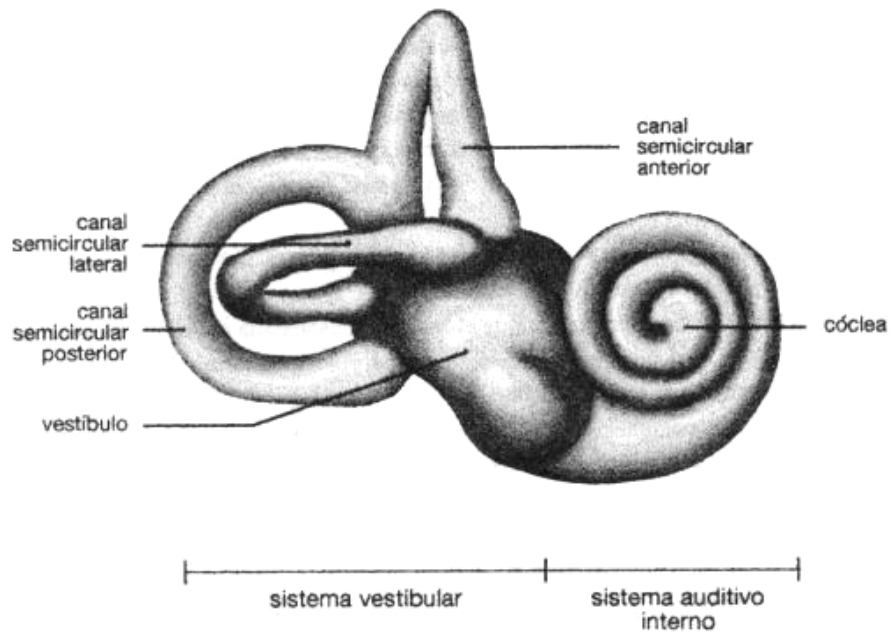


Figura 5 - Anatomia do ouvido interno. (Retirado de [19])

A **porção vestibular**, responsável pelo equilíbrio, é constituída pelo **vestíbulo** e pelos três **canais semicirculares**. [20]

A **porção coclear**, responsável pela capacidade auditiva, é constituída pela **cóclea** ou caracol. A cóclea (Figura 6) é uma estrutura em forma de espiral que começa numa base larga e se estende para um ápice estreito. É composta por três compartimentos, um superior, a escala vestibular, um inferior, a escala timpânica, e um central, a escala média ou canal coclear. (Figura 7) [15]

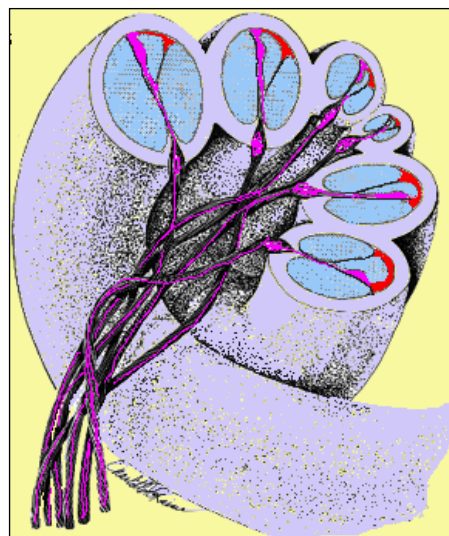


Figura 6 - Cóclea. (Retirado de [21])

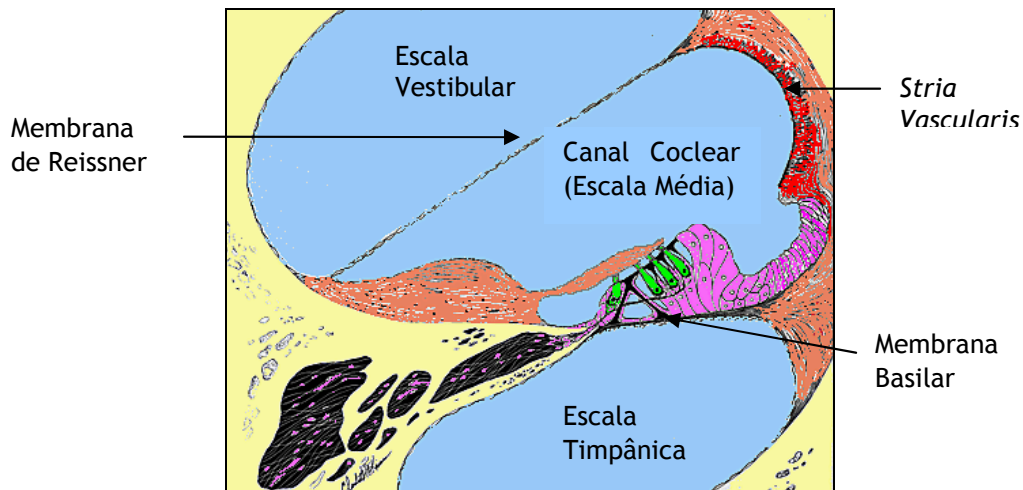


Figura 7 - Anatomia da cóclea. (Adaptado de [21])

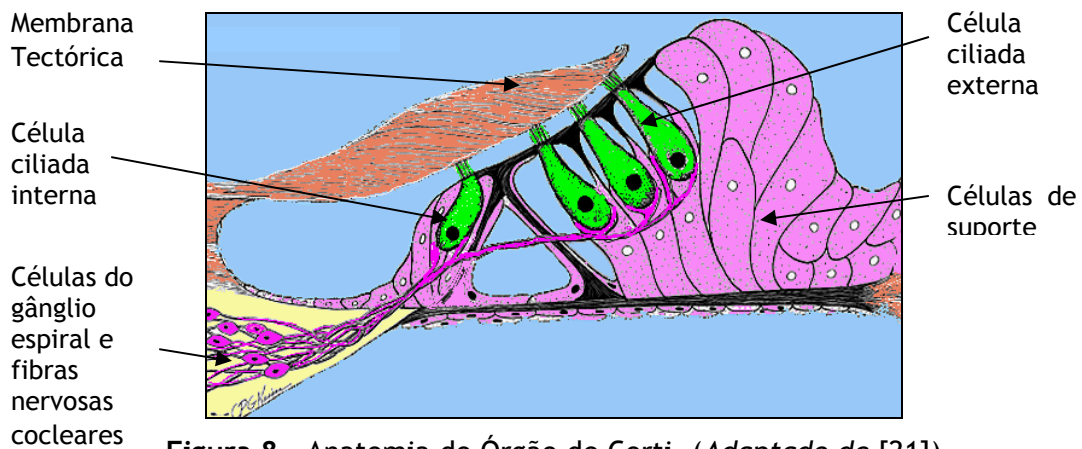
A escala vestibular é um tubo em forma de espiral que se estende até ao ápice da cóclea, onde se encontra com a escala timpânica, tubo também em forma de espiral que se estende até à janela redonda. O local onde as duas escalas se encontram tem o nome de helicotrema. [15]

A escala média ou canal coclear consiste numa cavidade em forma de triângulo que se estende 3 mm ao longo da cóclea, entre a escala vestibular e a timpânica. Está separado da escala vestibular pela membrana de Reissner, uma membrana fina com duas camadas celulares cuja única função é separar os fluidos das duas escalas, e da escala timpânica pela membrana basilar. A outra parede do canal coclear é composta por uma membrana vascularizada, superfície interna dos ligamentos espirais, a *stria vascularis*. [13]

As escalas timpânica e vestibular contêm perilinfa, um fluido parecido com o fluido cerebrospinal, constituído por Na^+ e Cl^- . O canal coclear contém endolinfa, fluido que apresenta elevadas concentrações de K^+ e baixas concentrações de Na^+ e que se encontra polarizado a aproximadamente +80 mV. Este potencial gera um elevado gradiente de potencial nas membranas das células ciliadas existentes na cóclea, que dependem dele de forma linear. [15; 22]

Assente na membrana basilar está o órgão de Corti (Figura 8), composto por células sensoriais ciliadas (internas e externas), células de suporte e por uma membrana tectórica gelatinosa que se apoia nas células sensoriais. É o responsável pela transdução do som de um impulso eléctrico para um impulso

nervoso. É inervado por fibras nervosas eferentes e aferentes pertencentes ao ramo coclear do VIII par craniano, o nervo auditivo. [13]



2.4 MECANISMO DE TRANSDUÇÃO DO SOM

As ondas sonoras que atingem o ouvido externo provocam vibração da membrana timpânica. Esta vibração é transmitida até à janela oval através da cadeia de ossículos da cavidade timpânica que, funcionando como uma alavanca, converte as vibrações de pequena amplitude do tímpano em oscilações mecânicas de grande amplitude necessárias para fazer entrar as ondas no fluido do ouvido interno. Da janela oval, as ondas de pressão hidráulica percorrem a escala vestibular até ao helicotrema, regressando pela escala timpânica até à janela redonda (Figura 9). A energia hidráulica desencadeada pelos movimentos do fluido coclear (endolinfa) provoca a ressonância da membrana basilar e do órgão de Corti. [22]

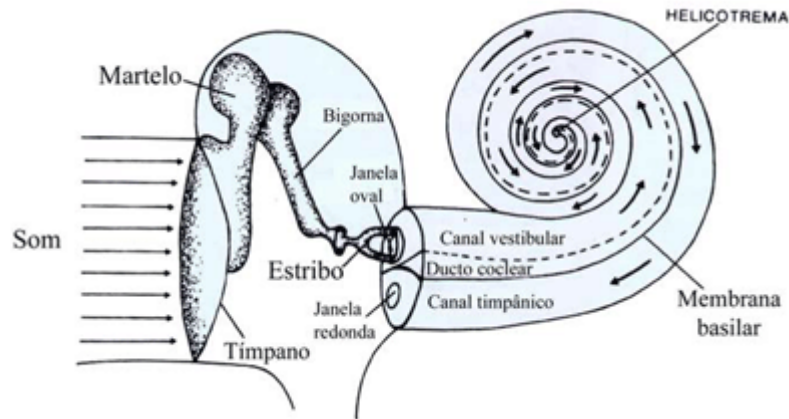


Figura 9 - Esquema mecânico da transdução do som no ouvido médio e interno.
(Retirado de [23])

A membrana basilar apresenta uma constituição diferente do ápice para a base, o que lhe confere uma variação na resposta em relação à gama de frequências. Perto da janela oval, na sua parte basal, a membrana é mais estreita e rígida, vibrando a frequências mais altas (sons agudos). Perto da janela redonda, no ápice, no final da escala timpânica, onde a membrana é mais larga e frouxa, as frequências mais baixas (sons graves) apresentam máxima vibração. A membrana basilar funciona então como um analisador de frequências, distribuindo os estímulos ao longo do órgão de Corti, de forma a que diferentes células ciliadas respondam a diferentes frequências. Isto resulta num mapa tonotópico da membrana basilar e do órgão de Corti, capazes de responder a frequências dos 20 (ápice) aos 20000 Hz (base). (Figura 10) [22]

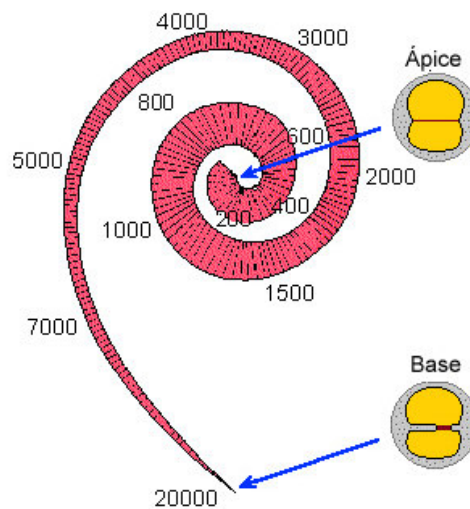


Figura 10 - Padrões vibratórios da membrana basilar ao longo do seu percurso, isto é, da base para o ápice e vice-versa. (Retirado de [23])

A ressonância da membrana basilar provoca uma inclinação das células ciliadas que despolarizam, originando um fluxo de corrente que produz um potencial de recepção nestas células. Este fluxo é o chamado potencial microfónico coclear, um evento oscilatório que apresenta a mesma frequência que o estímulo acústico. Representa a soma dos potenciais de recepção de um conjunto de células ciliadas. A despolarização das células ciliadas resulta na libertação de um neurotransmissor, que gera um potencial que excita as fibras nervosas aferentes cocleares permitindo sinapses, desencadeando impulsos que são conduzidos até ao núcleo coclear da medula. [15]

Cerca de 90 % das fibras nervosas aferentes inervam células sensoriais ciliadas internas, enquanto que a maioria das fibras nervosas eferentes fazem sinapse com as células ciliadas externas. As fibras nervosas aferentes do nervo auditivo são células bipolares com axónios que são prolongamentos do gânglio espiral. Junto ao gânglio espiral encontram-se as fibras nervosas pertencentes ao sistema eferente, que têm origem no complexo olivar superior. [15]

2.5 VIAS AUDITIVAS CENTRAIS

Via auditiva ascendente ou aferente

A via auditiva aferente representa o caminho que o impulso que se gera nas células ciliadas percorre até ao córtex cerebral, mais concretamente até ao córtex auditivo.

As fibras cocleares aferentes do ramo coclear do VIII par craniano (nervo auditivo) efectuem sinapses com os neurónios dos núcleos cocleares dorsal e ventral. Os axónios destes neurónios ascendem no lemnisco lateral, o canal auditivo ascendente principal. Cada lemnisco lateral termina num colículo inferior. Neurónios do colículo inferior projectam-se no núcleo geniculado medial do tálamo, o que produz a informação auditiva. Esta informação termina no córtex auditivo primário, localizado no giro temporal transversal no lobo temporal. (Figura 11) [15]

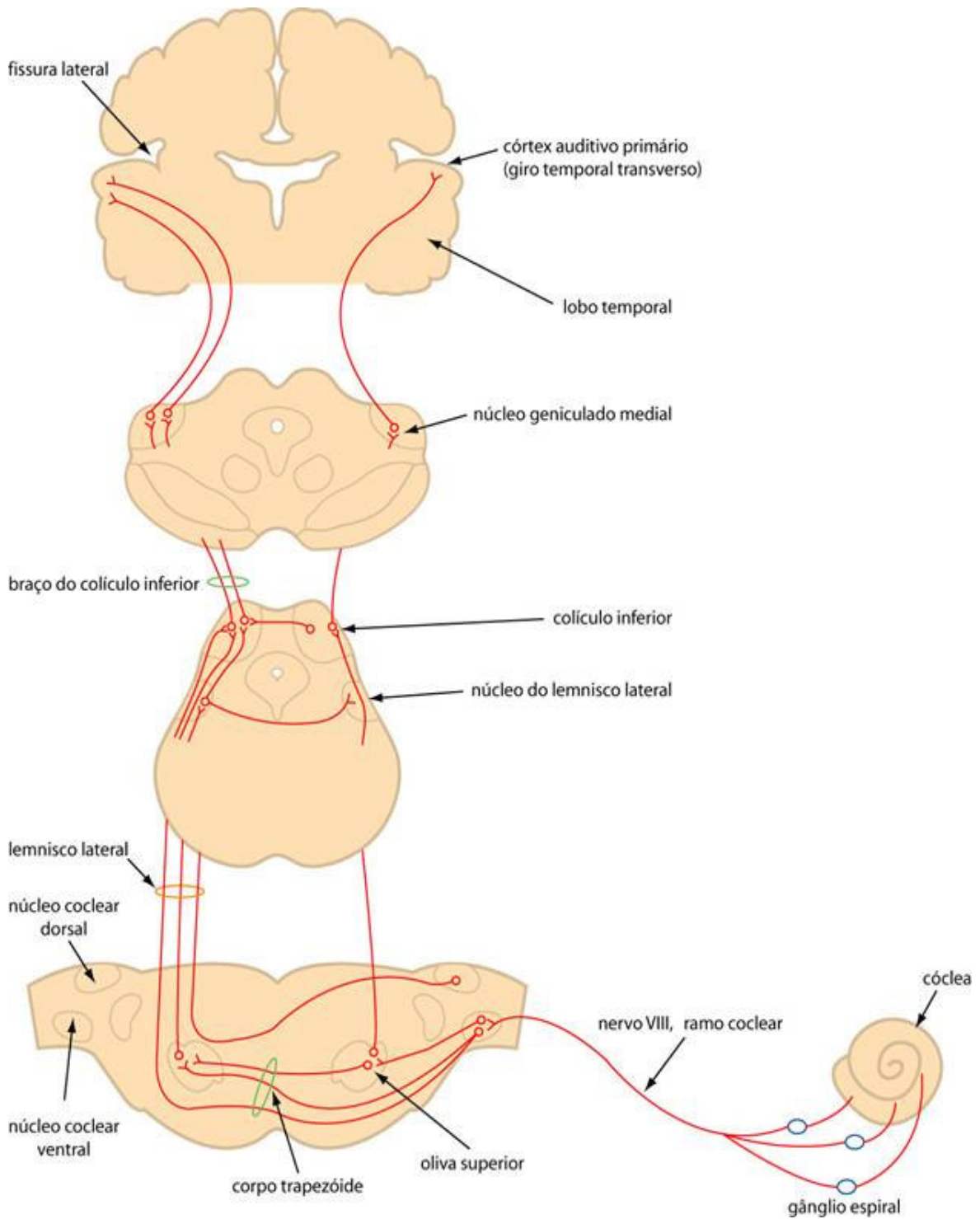


Figura 11 - Representação esquemática das vias auditivas. (Retirado de [24])

Via auditiva descendente ou eferente

A via auditiva eferente representa um caminho similar ao da via aferente, mas no sentido inverso. Conduz os impulsos desde o córtex auditivo primário até

às células ciliadas. Nasce do complexo olivar superior e vai, contralateralmente, acompanhando a escala vestibular até ao canal coclear, onde passa para o nervo coclear e inerva, predominantemente, as células ciliadas externas.

Esta via tem um papel modulador na fisiologia coclear, nomeadamente sobre a actividade das células ciliadas internas. [18]

3. Avaliação Auditiva Periférica

A Audiologia é o ramo da ciência que estuda a audição e o tratamento das suas perturbações. [25]

A capacidade auditiva resulta da transdução de uma onda sonora num impulso eléctrico, realizada pelo sistema ouvido-córtex auditivo primário. Uma onda sonora resulta das variações de pressão que ocorrem num meio elástico (ar, água ou outro) provocadas pela vibração das moléculas desse meio quando encontram um determinado objecto [15; 26]. Durante a propagação de uma onda sonora, as moléculas do meio movem-se alternadamente, juntando-se e afastando-se, o que resulta em duas regiões distintas: uma região de alta pressão, provocada pela compressão das moléculas e uma de baixa pressão, provocada pela rarefacção das moléculas. A propagação do som resulta de uma série de movimentos oscilatórios das perturbações moleculares que vão originando sucessivamente mais zonas de compressão e rarefacção emitidas a partir da fonte sonora. [27]

O som é caracterizado por três propriedades: intensidade, frequência (ou altura ou tom) e timbre (ou qualidade musical). A **intensidade**, dependente da amplitude da onda, permite distinguir um som fraco (menor amplitude ou menor intensidade) de um som forte (maior amplitude ou maior intensidade). A **frequência** refere-se ao número de ciclos de vibração por unidade de tempo, permitindo distinguir um som agudo, com maior frequência de vibração e consequentemente tom mais alto, de um som grave, mais baixo e com menor frequência. O **timbre** traduz a qualidade de um som ao nível dos seus harmónicos, definidos como frequências múltiplas da frequência fundamental que nos permitem distinguir diferentes vozes (o timbre é específico de cada indivíduo) ou diferentes instrumentos musicais a tocar a mesma nota. [28]

A intensidade de um som é medida em decibéis (dB), um décimo de um Bel. Como o ouvido humano é extremamente sensível a pequenas variações de pressão sonora no ar e responde a uma larga gama de frequências (entre os 20 e os 20000 Hz), a escala de decibéis utilizada é logarítmica e não linear. O decibel

não é um valor absoluto, mas sim uma razão logarítmica entre duas intensidades, uma relativa ao som a ser descrito (I_1) e outra de referência (I_0), de acordo com a seguinte expressão: $\text{dB} = 10 \log (I_0/I_1)$. Para termos um valor absoluto, é necessário comparar a intensidade do som que se quer descrever com um valor de referência standard. O valor comumente utilizado para a pressão sonora de referência ou *sound pressure level* (SPL) é de 20 μPa ou 0 dB SPL. Como a intensidade é proporcional à raiz quadrada da pressão, a expressão anterior passa a ser: pressão sonora em dB = $20 \log (P_1/P_0)$. [13]

Para fins clínicos e de diagnóstico, utiliza-se como medida padrão o nível de audição ou *hearing level* (HL) de um jovem adulto com audição normal. É esta a medida usada na calibração dos audiômetros. [13]

A avaliação audiológica serve para determinar o tipo e o grau de perda auditiva e orientar o paciente para o tratamento mais adequado. O grau de perda auditiva é calculado em função da intensidade necessária para amplificar um som de forma a que este seja percebido pelo indivíduo que a apresenta. O limiar de audibilidade (0 dB SPL), limiar próprio de cada indivíduo para cada frequência sonora, é a intensidade da mais pequena oscilação que consegue ser percebida pelo ouvido. O limiar de dor (120 dB SPL) é a intensidade à qual uma onda se torna dolorosa. Estes limiares estão representados na Figura 12 em função da frequência na gama audível (entre os 20 e os 20000 Hz).

Os limiares de detecção de um tom puro variam com a sua frequência. Os limiares mínimos de audibilidade para a audição humana são para tons puros entre os 2000 e os 4000 Hz. [13]

A intensidade normal de conversação é de 65 dB SPL. Os sons que ultrapassam os 100 dB SPL podem danificar o sistema auditivo periférico e os acima dos 120 dB SPL podem causar dor. [15]

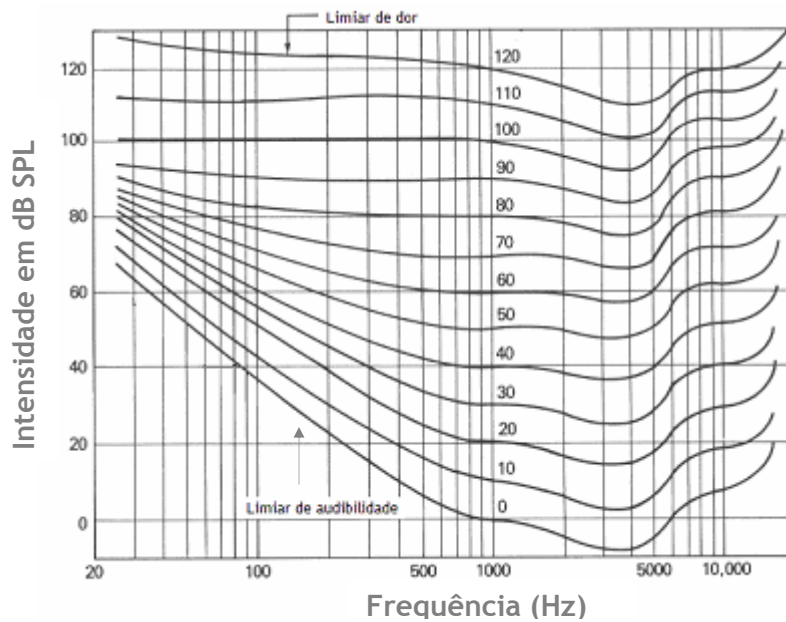


Figura 12 - Curvas de Fletcher e Munson de sensibilidade auditiva. Cada curva representa um nível de intensidade. A curva com o menor valor representa o limiar de audibilidade (0 dB SPL) e a com o maior valor representa o limiar de dor (120 dB SPL). (Adaptado de [29])

3.1 TIMPANOMETRIA

A timpanometria é um exame que consiste na avaliação da integridade do sistema de transmissão do ouvido médio (membrana timpânica, cadeia ossicular e trompa de Eustáquio) como função da pressão sonora aplicada no canal auditivo externo. É usada para diferenciar as patologias condutivas entre si e também permite inferir acerca do funcionamento da trompa de Eustáquio. O gráfico que representa os dados de uma timpanometria é denominado por timpanograma. À medida que a pressão varia, o ponto de máxima complacência da membrana timpânica é identificado como um pico no timpanograma e indica a pressão à qual o tímpano é mais flexível, ocorrendo quando a pressão no canal auditivo externo (pressão atmosférica) iguala a pressão no ouvido médio.

Existem cinco tipos de timpanogramas: (Figura 13) [13; 26; 30]

- Tipo A - representa um timpanograma normal com pico de complacência a uma pressão de 0 daPa;

- Tipo B - timpanograma achatado, sem pico ou arredondado, sugerindo existência de fluido no ouvido médio ou perfuração da membrana timpânica;
- Tipo C - timpanograma caracterizado por um pico de complacência a pressões negativas, existindo também pressão negativa no ouvido médio. É consistente com um mau funcionamento da trompa de Eustáquio;
- Tipo A_s - timpanograma do tipo A com pico de complacência mais baixo. É curva sugestiva, embora não obrigatória, de otosclerose;
- Tipo A_d - timpanograma do tipo A com pico de complacência anormalmente elevado. É típico de uma membrana timpânica flácida ou de desarticulação da cadeia ossicular.

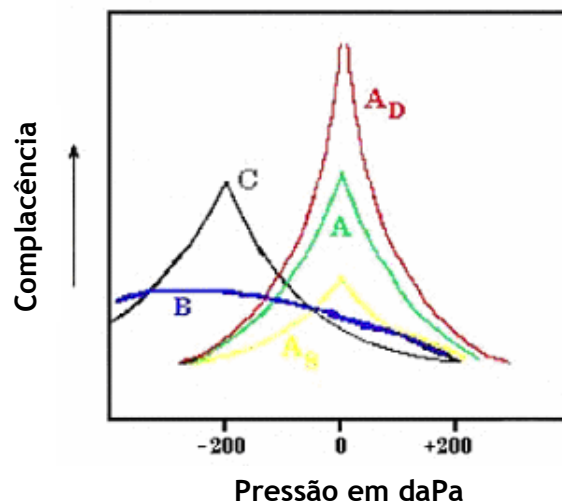


Figura 13 - Exemplos dos cinco tipos de timpanogramas que se podem obter através de uma timpanometria - timpanograma do tipo A, B, C, A_s e A_d. (Adaptado de [31])

3.2 AUDIOMETRIA TONAL LIMINAR

A audiometria tonal liminar é o método utilizado para quantificar a sensibilidade auditiva, determinando os limiares mínimos de intensidade sonora a que o indivíduo responde como tendo uma sensação auditiva. É realizada por duas vias, via aérea e via óssea. A via aérea avalia a acuidade auditiva do indivíduo via pavilhão auricular até à cóclea, através da colocação de auscultadores. A via óssea utiliza um vibrador colocado na mastóide,

estimulando a cóclea directamente. Este tipo de medição permite quantificar a perda auditiva devido a problemas na transmissão ou condução do som e a que é devida a lesões no ouvido interno ou no nervo auditivo. [13]

O exame é realizado numa cabine acusticamente isolada, com os estímulos (tons puros) emitidos através de um audiómetro calibrado [26]. Inicia-se familiarizando o indivíduo com o sinal, passando depois à medição dos limiares. Normalmente avaliam-se frequências seleccionadas entre 250 e 8000 Hz (250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz) para a via aérea e as mesmas, com excepção dos 8000 Hz, para a via óssea. O primeiro estímulo sonoro é apresentado acima do limiar, diminuindo-se a intensidade em degraus de 10 dB até não existir resposta por parte do indivíduo. Vai-se aumentando a intensidade em degraus de 5 dB até existir resposta e diminui-se depois em degraus de 10 dB até voltar a não existir resposta, e assim sucessivamente. O limiar auditivo é definido como a intensidade mínima a que o indivíduo responde 50 % das vezes. [13; 26]

Para a via aérea, quando o nível de condução aérea do ouvido em teste exceder o nível de condução óssea do outro ouvido em 40 dB ou mais, é necessário aplicar um sinal ao ouvido que não está a ser testado de forma a este não alterar os resultados do ouvido em teste. Este é o efeito de mascaramento. Também é necessário aplicá-lo para a via óssea sempre que existirem diferenças entre as duas vias superiores a 10 dB para o ouvido em teste. [13; 26]

Para cada frequência seleccionada, é anotado o limiar auditivo obtido num gráfico denominado audiograma - gráfico representativo da sensibilidade de um indivíduo a tons puros em função da frequência. Geralmente são utilizados os seguintes símbolos: O (círculo na cor vermelha) para os limiares da via aérea no ouvido direito, X (xis na cor azul) para os limiares da via aérea no ouvido esquerdo, < (sinal de menor na cor vermelha) para os limiares da via óssea no ouvido direito e > (sinal de maior na cor azul) para os limiares da via óssea no ouvido esquerdo. Quando os limiares ultrapassam a saída máxima do audiómetro, estes símbolos vêm acompanhados de uma seta descendente para indicar ausência de resposta. [26]

A comparação dos limiares aéreos e ósseos permite determinar a diferença entre eles. Esta diferença ou *gap* aéreo-ósseo existe se for igual ou

superior a 10 dB. Podemos assim classificar a perda auditiva. Distinguem-se quatro tipos de audiogramas: [26]

- Audição normal - os limiares das duas vias estão dentro dos valores normais (20 dB HL); (Figura 14, Audiograma A1)
- Perda condutiva - perda auditiva só através da via aérea, com os limiares ósseos dentro dos valores normais, existindo um *gap* aéreo-ósseo e indicando patologia do ouvido externo ou médio; (Figura 14 Audiograma A2)
- Perda neurossensorial - perda idêntica nas duas vias indicando patologia coclear (sensorial) e do nervo auditivo (neural); (Figura 14, Audiograma A3)
- Perda mista - perda nas duas vias mas maior para a via aérea, indicando uma combinação de patologia condutiva com neurossensorial. (Figura 14, Audiograma A4)
- Perda central - não aparece como perda auditiva no audiograma.

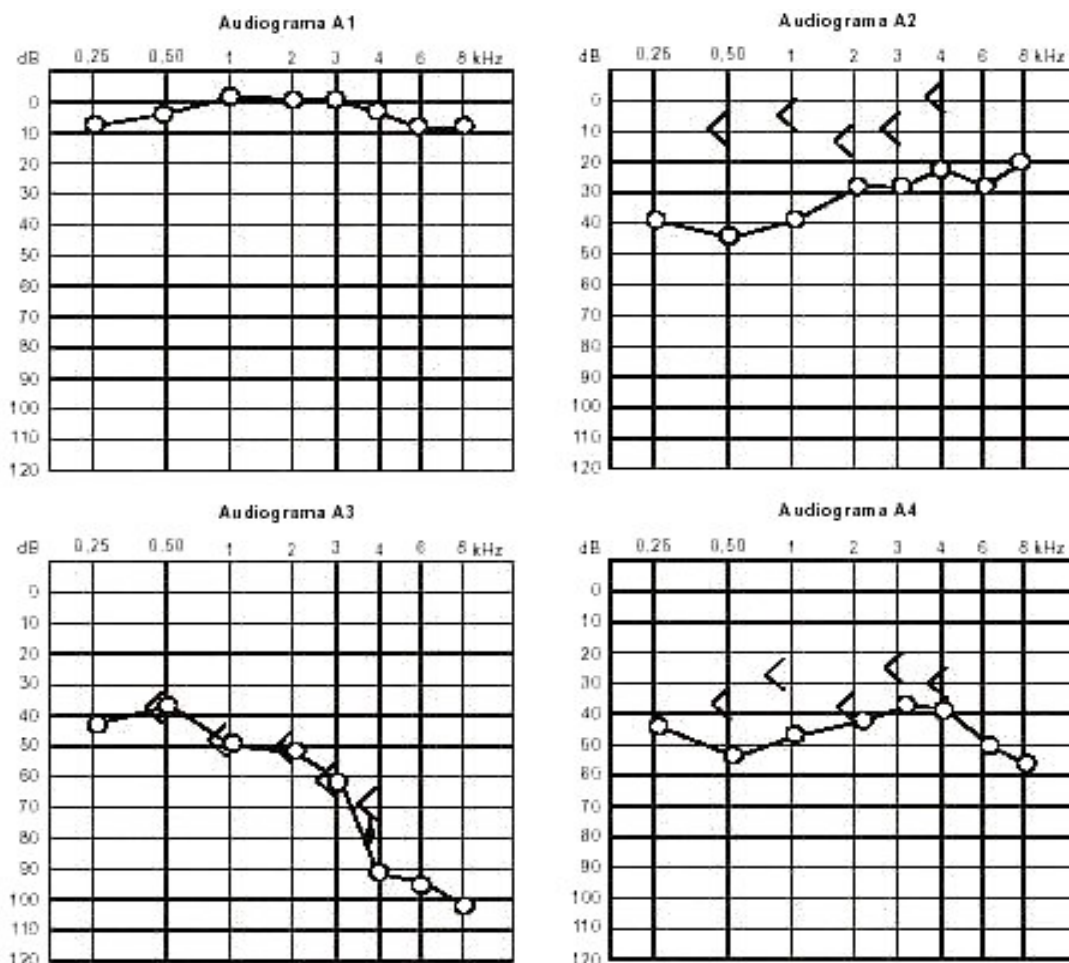


Figura 14 - Exemplos dos quatro tipos de audiogramas tonais. (Audiograma A1 - audição normal, Audiograma A2 - perda condutiva, Audiograma A3 - perda neurossensorial e Audiograma A4 - perda mista). (Retirado de [32])

O grau de perda auditiva pode ser descrito por várias escalas. A apresentada na Tabela 1 é um exemplo. É determinado através do cálculo da média dos limiares aéreos nas frequências 500, 1000 e 2000 Hz.

Grau de perda	dB (HL)
Normal	-10 a 20 dB
Perda leve	21 a 40 dB
Perda moderada	41 a 55 dB
Perda moderada a severa	56 a 70 dB
Perda severa	71 a 90 dB
Perda profunda	> 90 dB

Tabela 1 - Classificação do grau de perda auditiva (dB HL). (Adaptado de [26])

3.3 AUDIOMETRIA VOCAL

A linguagem é a principal forma de comunicação, portanto é fundamental que a avaliação do sistema auditivo inclua medições da habilidade de perceber e reconhecer a linguagem oral. Esse é o objectivo da audiometria vocal. Para isso, determina o limiar de reconhecimento da fala (*Speech Reception Threshold - SRT*), o limiar de detecção e o índice percentual de reconhecimento da fala (*IPRF*). [13]

- **Limiar de Reconhecimento da Fala (SRT)**

Corresponde à menor intensidade à qual o paciente é capaz de discriminar 50 % dos estímulos. Inicialmente, confirmam-se os limiares tonais. O SRT não deve diferir mais do que 10 dB da média dos limiares tonais de condução aérea a 500, 1000 e 2000 Hz.

Apresentam-se listas de palavras para o paciente repetir. Cada lista a uma intensidade diferente. O SRT é a intensidade a que o paciente acerta 50 % das palavras apresentadas. [26]

- **Limiar de Detecção**

É a menor intensidade à qual o paciente responde à presença de estímulo sonoro. O indivíduo ouve o estímulo mas não reconhece. O limiar obtido é o melhor limiar obtido nas frequências testadas. [26]

- **Índice Percentual de Reconhecimento da Fala (IPRF)**

Representa a percentagem de palavras repetidas correctamente a aproximadamente 35 dB acima do SRT. Os resultados dependem do grau e tipo de perda auditiva que o indivíduo apresenta. A interpretação dos resultados (percentagens de discriminação) faz-se da seguinte forma: [26]

- 90 a 100 % - indivíduos normais, com boa percepção;
- 76 a 88 % - poucas dificuldades;
- 60 a 74 % - dificuldade moderada;
- 40 a 58 % - fraca discriminação;
- 40 % - discriminação muito fraca.

A audiometria vocal é realizada utilizando como estímulos listas de palavras, mono ou dissilábicas, e até mesmo frases. As palavras são seleccionadas de acordo com a sua familiaridade, sendo todas de uso comum no quotidiano e foneticamente equilibradas. [13]

Os resultados de uma audiometria vocal são representados num audiograma, que relaciona a intensidade do estímulo com a percentagem de palavras percebidas.

O audiograma vocal de um indivíduo com audição normal, com a utilização de listas dissilábicas como estímulos, situa-se entre os 0 e os 20 dB SPL (-10 e 10 dB HL) e uma performance de 50% (SRT) é atingida a 10 dB SPL ou 0 dB HL. (Figura 15) [13]

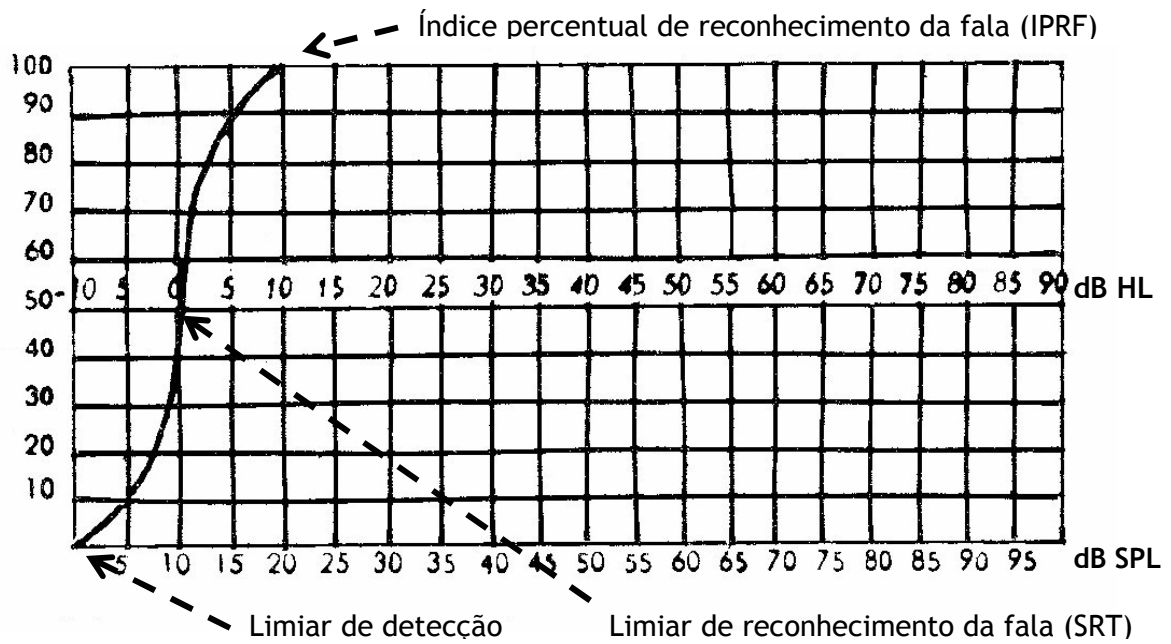


Figura 15 - Audiograma vocal de um indivíduo com audição normal com a localização do limiar de detecção, do limiar de reconhecimento da fala (SRT) e do índice percentual de reconhecimento da fala (IPRF).

4. Material e Metodologia

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética dos Hospitais da Universidade de Coimbra com a qual foi estabelecido um Protocolo para a realização do estudo (*vide* Anexo 1 - Pedido de autorização do estudo e Anexo 2 - Protocolo). Todos os ensaios realizados aos pacientes foram realizados no Serviço de Exames Complementares do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra.

O cumprimento do objectivo deste trabalho, passa pela resposta a duas questões:

- 1) Será que os indivíduos portadores de perda auditiva neurosensorial, que perdem audição nas frequências mais agudas, apresentam uma melhor percepção para sons/vozes mais graves?
- 2) Será que é viável o desenvolvimento de um *shift* de frequências que consiga mover um sinal mais agudo para frequências mais graves?

De forma a responder à primeira questão, realizou-se uma avaliação auditiva periférica através de uma timpanometria, uma audiometria tonal liminar e uma audiometria vocal. Os exames foram realizados em 20 voluntários, divididos em dois grupos, um grupo controlo constituído por 10 indivíduos que apresentavam audição normal e um grupo de estudo constituído por 10 indivíduos que apresentavam perda auditiva neurosensorial. A timpanometria serviu para seleccionar os 20 indivíduos e excluir outros que apresentavam problemas na integridade do sistema de transmissão do som no ouvido médio. Através da audiometria tonal liminar seleccionaram-se os indivíduos de cada grupo, diferenciando entre indivíduos com audição normal e indivíduos portadores de perda neurosensorial. A audiometria vocal é o exame em que se baseia todo este estudo. Esta permite-nos avaliar o nível de percepção dos dois grupos à linguagem oral. Para a realização deste exame, escolheram-se listas de palavras a serem gravadas em duas vozes, uma masculina e uma feminina. Avaliou-se, desta forma, o nível de percepção dos dois grupos às duas vozes,

tratando os resultados estatisticamente por forma a determinar se as diferenças observadas entre os grupos eram estatisticamente significativas.

Para responder à segunda questão, analisaram-se os espectros de frequência das duas vozes e desenvolveu-se um *script* em Matlab que permitisse um desvio das frequências que compõem um determinado som complexo.

4.1 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

De acordo com o Protocolo estabelecido e devidamente informados acerca dos moldes em que se realiza o presente estudo (*vide* Anexo 3 - Documento de informação ao doente e Consentimento informado), todos os indivíduos avaliados neste estudo concordaram em participar no mesmo, demonstrando-o de forma escrita. A amostra utilizada neste estudo consta de 20 indivíduos, 12 do sexo feminino e 8 do sexo masculino, seleccionados aleatoriamente, de acordo com a afluência ao Serviço de Exames Complementares do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra. Os indivíduos foram subdivididos da seguinte forma:

Grupo Controlo - Os indivíduos do Grupo Controlo foram seleccionados de acordo com os seguintes critérios:

- Idade compreendida entre os 40 e os 55 anos;
- Condições ideais do canal auditivo externo, com ausência de impedimentos para a realização do protocolo de avaliação auditiva;
- Timpanograma do tipo A;
- Limiares tonais compatíveis com uma audição normal e ausência de *gap* aéreo-ósseo na audiometria tonal liminar, nas frequências avaliadas.

O Grupo Controlo era constituído por 10 indivíduos, 9 do sexo feminino e 1 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 40 e os 56 anos. Todos os indivíduos deste grupo cumpriam todos os critérios de inclusão, à excepção de

um que apresentava, à data do exame, 56 anos. No entanto, foi incluído por cumprir todos os outros critérios que não o da idade, o que foi assumido não interferir com os objectivos deste estudo.

Grupo de Estudo - Os indivíduos do Grupo de Estudo foram seleccionados de acordo com os seguintes critérios:

- Idade compreendida entre os 60 e os 80 anos;
- Condições ideais do canal auditivo externo, com ausência de impedimentos para a realização do protocolo de avaliação auditiva;
- Timpanograma do tipo A;
- Limiares tonais compatíveis com uma perda auditiva neurossensorial, bilateral, simétrica, característica de presbiacusia e ausência de *gap* aéreo-ósseo na audiometria tonal liminar, nas frequências avaliadas.

O Grupo de Estudo era constituído por 10 indivíduos, 3 do sexo feminino e 7 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 62 e os 78 anos. Todos os indivíduos deste grupo cumpriam todos os critérios de inclusão.

4.2 EXAMES EFECTUADOS PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Os critérios de inclusão foram avaliados através da realização de uma timpanometria, para aferir a integridade do sistema de transmissão do ouvido médio, realizada num impedanciómetro (GSI 33) e através de uma audiometria tonal liminar, para pesquisar os limiares auditivos nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, realizada em cabine acusticamente isolada, utilizando um audiómetro (GSI 16).

4.3 AUDIOMETRIA VOCAL

A audiometria vocal é, usualmente, utilizada para determinar os limiares de percepção da linguagem oral pesquisando o limiar de reconhecimento da fala (SRT), o limiar de detecção e o índice percentual de reconhecimento da fala. Foi realizada em campo livre, em cabine acusticamente isolada, utilizando um audiómetro (GSI 16).

4.3.1 Listas de palavras

Foram utilizados como estímulos 8 listas de palavras dissilábicas (Tabela 2) seleccionadas de entre as 32 listas existentes no Serviço de Exames Complementares do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra, usadas regularmente como teste da audiometria vocal.

Lista 1	Lista 2	Lista 3	Lista 4	Lista 5	Lista 6	Lista 7	Lista 8
Alma	Branca	Cabra	Pedra	Antro	Prégar	Preta	Gruta
Parque	Cinco	Seixo	Sorte	Circo	Manta	Vento	Testa
Môrro	Arma	Bucha	Tinta	Norte	Grêta	Velha	Grilo
Bela	Melro	Trinta	Fava	Lombo	Curso	Vulto	Cento
Metro	Morte	Mimo	Tento	Negra	Lindo	Tejo	Leão
Seio	Cuco	Centro	Milho	Urna	Garfo	Alça	Culto
Macho	Pente	Monte	Sôco	Côco	Aço	Prece	Calço
Forte	Cêrco	Louca	Marte	Peça	Ninho	Uivo	Barril
Pombo	Feio	Pobre	Trêta	Modo	Ruivo	Pinto	Gêlo
Rouca	Saia	Cêrca	Funil	Tear	Vela	Mente	Pregar

Tabela 2- Listas de palavras dissilábicas.

4.3.2 Gravação das listas de palavras

No Serviço de Exames Complementares do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra a audiometria vocal é realizada em voz viva. Na prática clínica diária, isto não apresenta grandes dificuldades uma vez que a audiometria vocal é um exame complementar. Todavia, para a realização de um estudo cujo rigor é uma exigência permanente e do qual depende directamente

o valor científico a ser-lhe atribuído, é imperioso tornar a metodologia o mais uniforme possível para todos os indivíduos que participam no mesmo, controlando desta forma todas as variáveis possíveis. A voz viva não garante a uniformidade nem do timbre, nem da altura, nem da intensidade, que se sabe poderem variar facilmente, com diversos factores. Por esta razão, resolvemos realizar uma gravação digital das listas de palavras.

As listas foram gravadas em duas vozes, uma masculina (voz mais grave) e uma feminina (voz mais aguda) (vide Anexo 4 - CD de dados\Listas de palavras) de forma a ser possível comparar a sua percepção pelos dois grupos em estudo.

Inicialmente, foi criada uma interface (Figura 16) de gravação, utilizando a aplicação GUIDE do *software* Matlab 7.1. (vide Anexo 4 - CD de dados\Interface de Gravação)

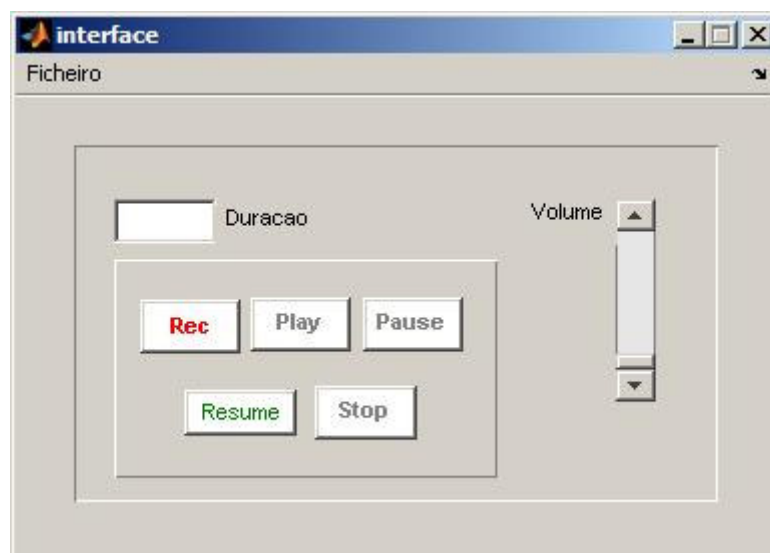


Figura 16 - Interface de gravação criada utilizando a aplicação GUIDE do *software* Matlab 7.1 para gravar as 8 listas de palavras nas duas vozes (voz feminina e voz masculina). (vide Anexo 4 - CD de dados\Interface de Gravação)

A gravação das listas de palavras implicava uma ligação do computador portátil ao audiómetro. Como o audiómetro apresenta uma entrada externa sem calibração, foi necessário proceder à sua calibração; para tal, foi utilizado um sonómetro (SC-20e CESVA). O uso do sonómetro permitiu-nos determinar a diferença entre a potência acústica do audiómetro para uma dada intensidade e a do computador quando ligado ao audiómetro. Esta calibração foi

posteriormente integrada na gravação das listas de palavras, usando para isso a interface gráfica apresentada anteriormente (Figura 16). Infelizmente, ao fim de inúmeras tentativas, foi impossível minimizar os ruídos inerentes ao equipamento de forma satisfatória, pelo que decidimos recorrer a um estúdio profissional de gravação (AUDIOLAB - Coimbra). As listas foram, então, gravadas continuamente, a uma frequência de amostragem de 44100 Hz, nas duas vozes, para um CD. Para a sua divisão (de forma a isolar cada palavra) e calibração, utilizou-se o *software* de livre distribuição Audacity 1.2.6 (<http://audacity.sourceforge.net/>). Desta forma, a qualidade das gravações realizadas foi excelente.

Para minimizar o ruído do equipamento na ligação do computador ao audiómetro, utilizou-se uma placa de som externa (*Sound Blaster Live! 24-Bit External* - Creative). Este sistema computador-placa de som-audiómetro é apresentado na Figura 17.



Figura 17 - Aparelhagem utilizada para a realização da audiometria vocal (sistema computador-placa de som-audiómetro).

4.3.3 Realização do exame

As listas de palavras foram “injectadas” no audiómetro através de uma interface criada na aplicação GUIDE do *software* Matlab 7.1 (Figura 18). (*vide* Anexo 4 - CD de dados\Interface de Realização do Exame)

Esta interface gráfica foi criada pelos requisitos de exequibilidade e

facilidade de controlo do ambiente de trabalho aquando da realização dos exames. Foi construída na perspectiva de ajudar o utilizador e por isso contém todos os elementos necessários à realização do exame. É bastante intuitiva, sendo acessível a qualquer pessoa.

Para a realização do exame, é usada uma lista de palavras de cada vez, primeiro na voz feminina e depois na voz masculina, esta com as palavras em ordem inversa para evitar memorização. As listas são apresentadas a intensidades distintas, controladas pelo audiómetro. A percentagem de acertos em cada lista e para cada voz é anotada para se determinar o limiar de detecção, o limiar de reconhecimento da fala (SRT) e o índice percentual de reconhecimento da fala (IPRF).

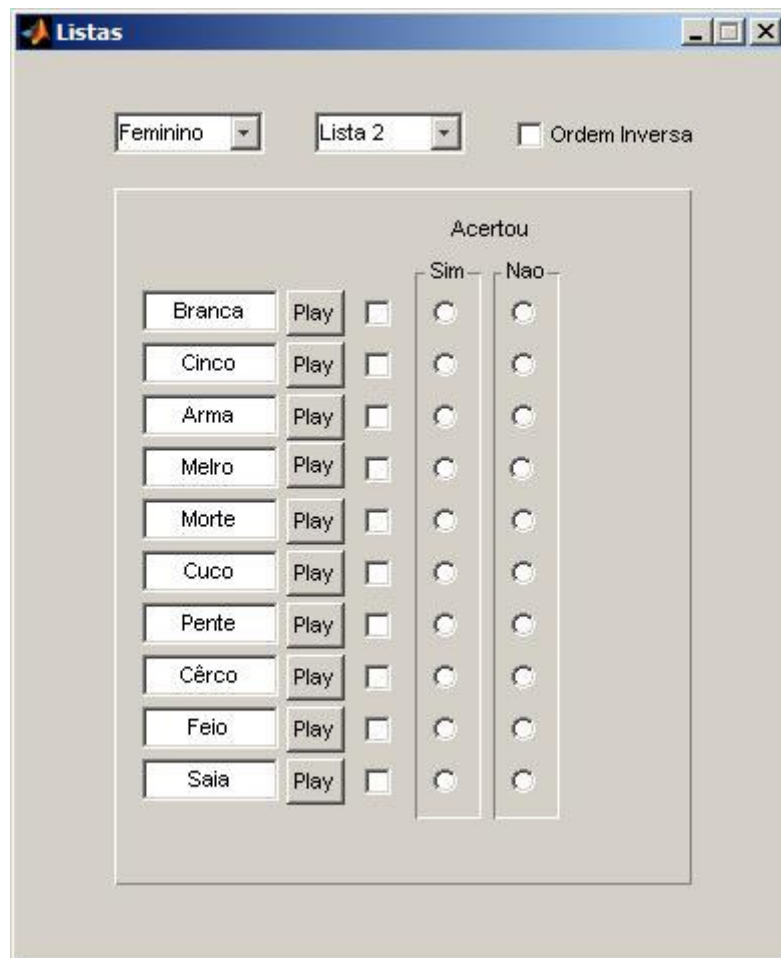


Figura 18 - Interface com as listas de palavras criada utilizando a aplicação GUIDE do software Matlab 7.1 para a realização da audiometria vocal. (vide Anexo 4 - CD de dados\Interface de Realização do Exame)

Inicialmente, escolhe-se no primeiro *pop-up* o tipo de voz que se pretende utilizar, feminina ou masculina. Em seguida, escolhe-se no segundo *pop-up* a lista de palavras, que se pode escolher de entre as 8 listas disponíveis. A lista seleccionada aparece automaticamente escrita na vertical nas caixas correspondentes. Se for escolhida a voz feminina, a lista aparece na ordem normal, porém se for na voz masculina esta aparece na ordem inversa e a *Check Box* relativa à “Ordem Inversa” aparece seleccionada. À medida que o exame se vai realizando, as palavras vão sendo ditas premindo os respectivos botões de Play. Quando a palavra acaba de ser dita, aparece seleccionada a *Check Box* do lado direito do botão Play indicando que esta palavra foi já usada. Existem também *Radio Buttons* que servem para anotar se o indivíduo repetiu correctamente a palavra ou não.

4.2.4. Análise do sinal e *shift* de frequências

Para avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um *shift* de frequências criou-se, utilizando a aplicação GUIDE do *software* Matlab 7.1, a interface gráfica apresentada na Figura 19. (*vide* Anexo 4 - CD de dados\Interface de Análise do Sinal)

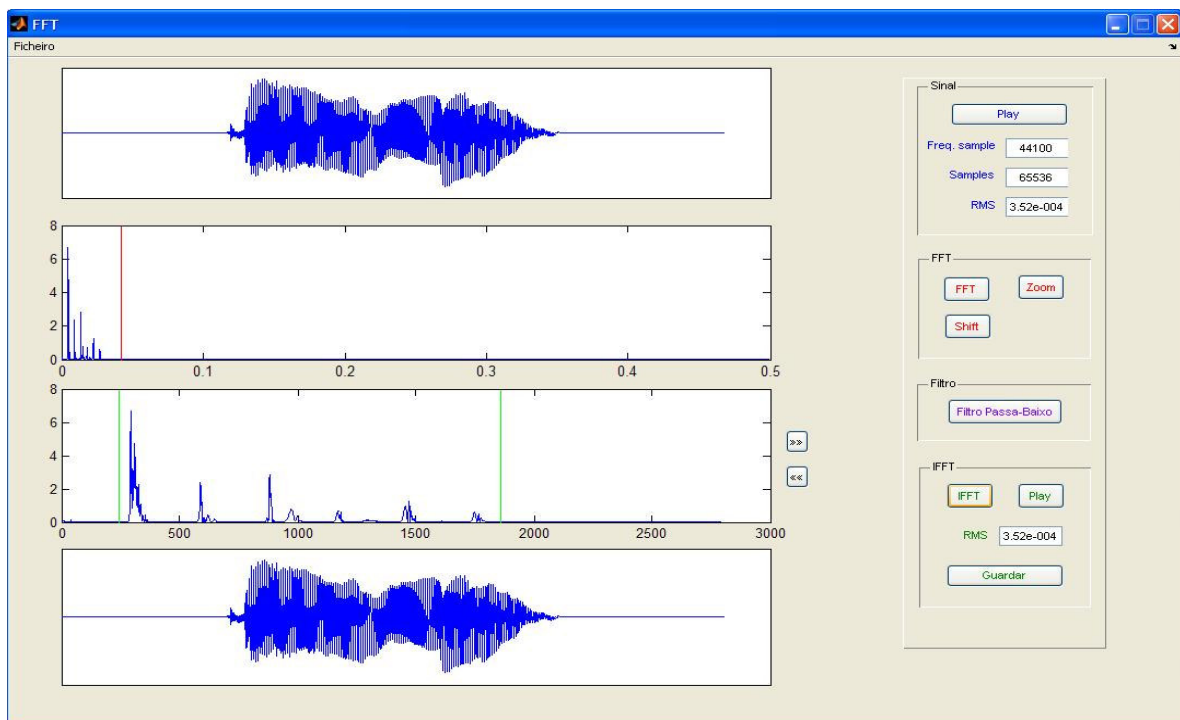


Figura 19 - Interface criada utilizando a aplicação GUIDE do *software* Matlab 7.1 para a análise de um sinal no espaço das frequências e com o objectivo de fazer um *shift* de

frequências ao mesmo. (vide Anexo 4 - CD de dados\Interface de Análise do Sinal)

Esta interface gráfica serve dois propósitos, o da análise de um sinal no espaço das frequências e o da tentativa de fazer um *shift* de frequências a esse sinal, de forma a movê-lo de frequências mais elevadas para frequências mais baixas ou vice-versa.

Antes de se descrever o funcionamento deste programa, é conveniente fazer uma breve introdução ao algoritmo de processamento de sinal utilizado.

O que se pretende é efectuar uma análise do sinal no espaço das frequências. Os sinais sonoros produzidos pela voz, pela linguagem oral, encontram-se naturalmente no domínio do tempo, isto é, a sua intensidade varia ao longo do tempo. Estes sinais podem ser decompostos em sinusóides, aplicando-se para isso a transformada de Fourier que converte o sinal no domínio do tempo para o espaço das frequências. Uma vez no espaço das frequências, a informação a que se tem acesso é a potência contida em cada frequência desde a frequência nula até à frequência crítica (metade da frequência de amostragem) e, a fase associada a cada uma destas frequências. No caso presente, pretende obter-se, portanto, um espectro de frequências do sinal. Este é um gráfico que relaciona a amplitude das ondas sinusoidais com a sua frequência.

Computacionalmente, o algoritmo mais rápido e eficiente para calcular a transformada de Fourier e daí o respectivo espectro de frequências de um sinal é a FFT (*Fast Fourier Transform*).

Aplicando o algoritmo FFT ao sinal no espaço tempo, obtém-se então um sinal que, em ambiente *Matlab*, é composto por números complexos. A norma deste sinal está associada à potência contida em cada frequência enquanto que o *ratio* entre a parte imaginária e a parte real se relaciona com a fase. O espectro de frequências do sinal pode então ser facilmente determinado tomando a norma do mesmo.

Um sinal no espaço das frequências pode ser submetido a diversas operações (por exemplo, filtragem) de forma bastante directa e simples. É conveniente, após operar o sinal no domínio das frequências, voltar a convertê-

lo para o espaço tempo, o que é conseguido aplicando o algoritmo inverso ao da FFT, denominado por IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*).

Em seguida vamos descrever as várias funcionalidades do programa desenvolvido (Figura 19).

- a) Na opção Ficheiro do *M*enu é possível Abrir o ficheiro de som que se quer analisar (.wav) ou Fechar a interface gráfica. Abrindo um ficheiro, este é apresentado graficamente no espaço tempo, como se pode ver na Figura 20. Optou-se por representar o sinal com o número de amostras em potência de 2 mais próxima ao valor real do número de pontos que o sinal apresenta;

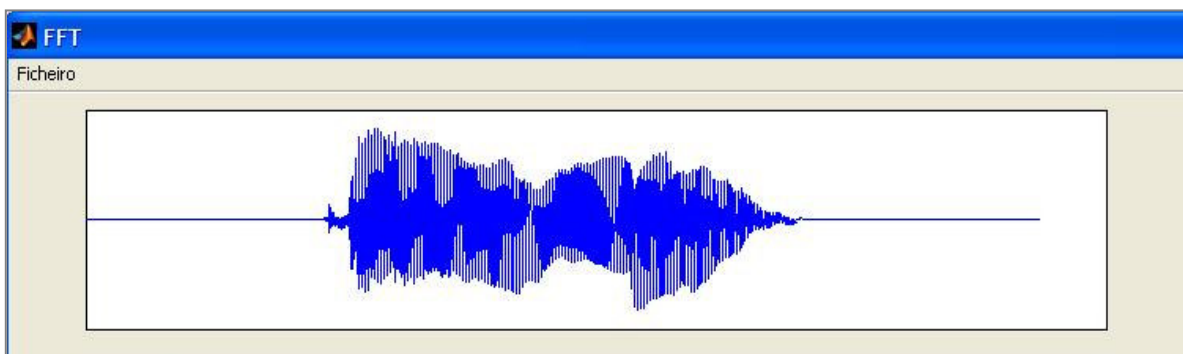


Figura 20 - Representação gráfica do sinal no espaço tempo.

- b) Representado o sinal no espaço tempo, são também apresentadas algumas propriedades do mesmo, como a frequência de amostragem (Freq. sample), o número de pontos ou amostras (Samples) e o seu valor de rms (Root Mean Square). É também possível ouvi-lo utilizando o *botão* Play; (Figura 21)



Figura 21 - Análise do sinal no espaço tempo (frequência de amostragem, número de amostras e valor de rms). É também possível ouvi-lo.

- c) A conversão do sinal do espaço tempo para o espaço das frequências acontece premindo o *botão* FFT (Figura 22). Na Figura 23 aparece representado o espectro de potência (energia em função da frequência). Optou-se por apresentar a escala de frequências entre 0 e 0,5, que significa a fracção da frequência de amostragem;



Figura 22 - Análise do sinal no espaço das frequências (aplicação do algoritmo FFT, ampliação e *shift* de frequências da zona do sinal seleccionada). É também possível a aplicação de um filtro passa-baixo com uma frequência de corte variável.

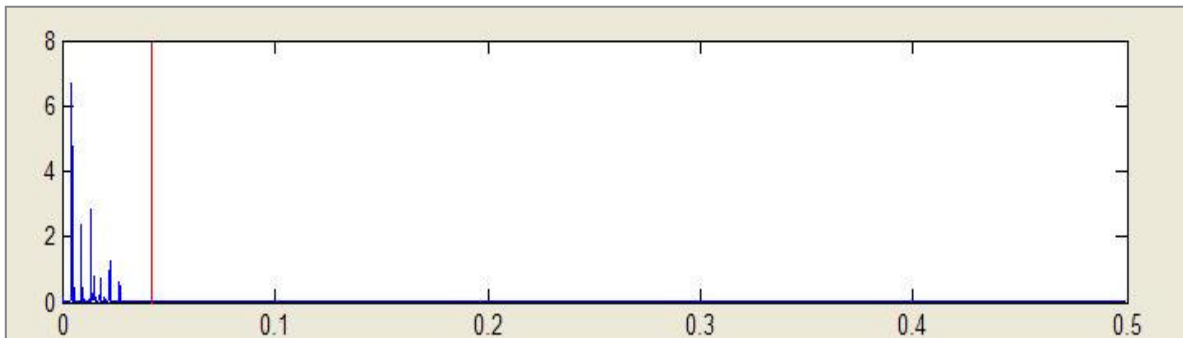


Figura 23 - Representação gráfica do espectro de potência.

- d) O botão Zoom da Figura 22 serve para se poder ampliar uma parte do sinal de modo a poder analisá-la melhor. Uma vez pressionado é possível desenhar um rectângulo que delimita com duas linhas vermelhas a zona do sinal que se pretende seleccionar. Esta zona é então representada graficamente num gráfico como o da Figura 24;

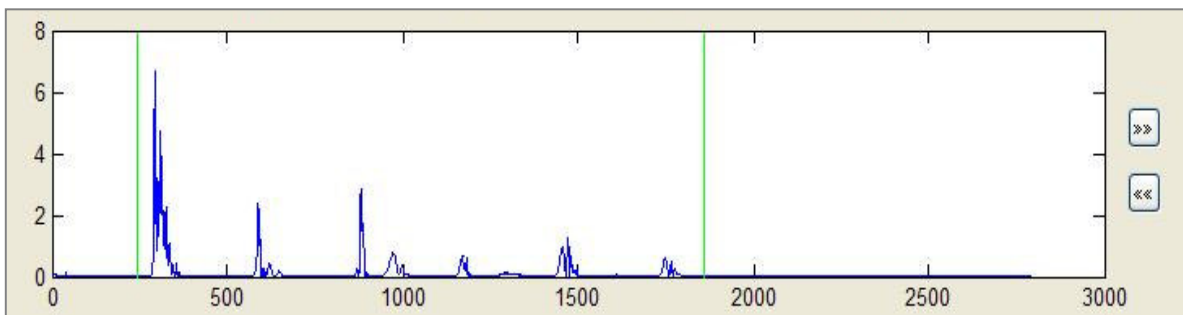


Figura 24 - Representação gráfica (energia em função da frequência real) e *shift* de frequências da zona do sinal seleccionada. O sinal é deslocado para a direita (altas frequências) ou para a esquerda (baixas frequências).

- e) O botão Shift da Figura 22 serve para seleccionar, no gráfico representativo do zoom (Figura 24), a zona do sinal que se pretende mover. É desenhado um rectângulo que delimita com duas linhas verdes a zona que se pretende mover. Dois botões ficam então activos permitindo, através de *clicks* sucessivos, mover o sinal seleccionado para a Direita ou para a Esquerda, no sentido das frequências mais altas ou no sentido das frequências mais baixas, respectivamente;

- f) Existe ainda outro botão apresentado na Figura 22, o do Filtro Passa-Baixo que, como o nome indica, serve para filtrar as altas frequências do sinal. Este filtro pode ser aplicado ao sinal no espaço das frequências (Figura 23). Apesar da frequência de corte ser facilmente alterada no código, não foi até ao momento codificada uma forma que permitisse ao utilizador aceder ao valor da mesma;
- g) Efectuado o *shift* de frequências, é necessário ouvir as modificações que foram feitas ao sinal de forma a garantir que o sinal não foi distorcido e verificar se as transformações em frequência se verificam na sua percepção enquanto sinal sonoro. O sinal é representado graficamente (Figura 26). É possível ouvir o sinal (premindo o botão Play) e guardá-lo (premindo o botão Guardar) (Figura 25). O seu valor de rms também é apresentado de forma a verificar se o sinal ficou calibrado segundo o valor de rms calculado anteriormente.



Figura 25 - Conversão do sinal para o espaço tempo utilizando o algoritmo IFFT. É também possível verificar se o sinal ficou calibrado segundo o valor de rms, é possível guardá-lo e ouvi-lo.

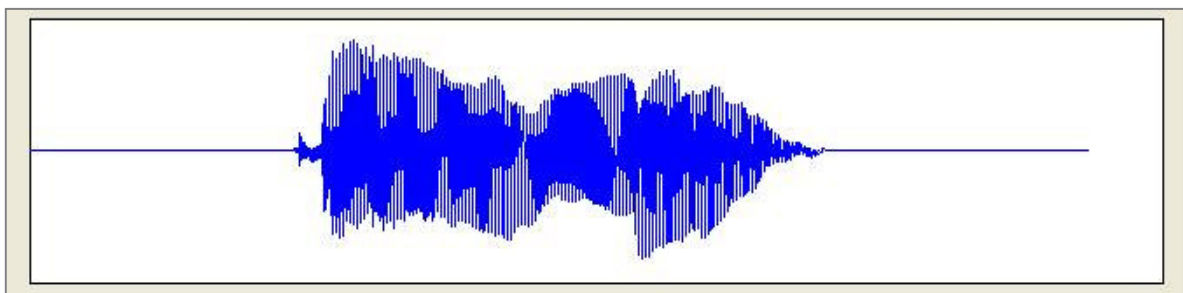


Figura 26 - Representação gráfica do sinal transformado no espaço tempo.

A interface apresentada na Figura 19 foi também utilizada na comparação, em frequência, das duas vozes utilizadas neste estudo, a voz feminina e a voz masculina, com o propósito de aferir se as duas apresentam diferenças significativas na sua composição em frequência.

5. Resultados

A exposição dos resultados segue a mesma ordem apresentada na metodologia. Em primeiro lugar, aparecem os resultados da avaliação dos critérios de inclusão, depois os da audiometria vocal e de todas as questões estatísticas a ela associadas e, por fim, a análise em frequência das duas vezes presentes neste estudo e um exemplo do *shift* de frequências.

O tratamento estatístico dos resultados obtidos foi realizado recorrendo ao *software* SPSS 15.0 para Windows.

5.1 EXAMES EFECTUADOS PARA A AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Todos os indivíduos pertencentes à amostra deste estudo obtiveram como resultado da timpanometria, um timpanograma do tipo A (Figura 27), isto é, não apresentam problemas na integridade do sistema de transmissão do ouvido médio.

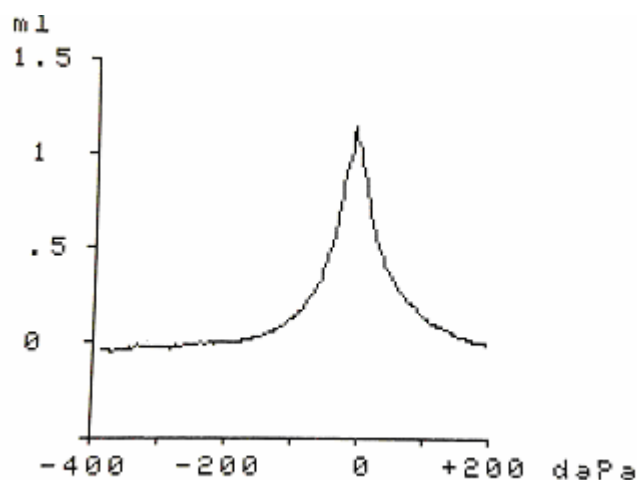


Figura 27 - Exemplo de um timpanograma do tipo A obtido neste estudo durante a realização de uma timpanometria.

Os resultados dos limiares auditivos médios (dB HL) da via aérea e

respectivos desvios padrão obtidos através da audiometria tonal liminar nas frequências de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, para o Grupo Controlo e para o Grupo de Estudo, para os dois ouvidos, são apresentados nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

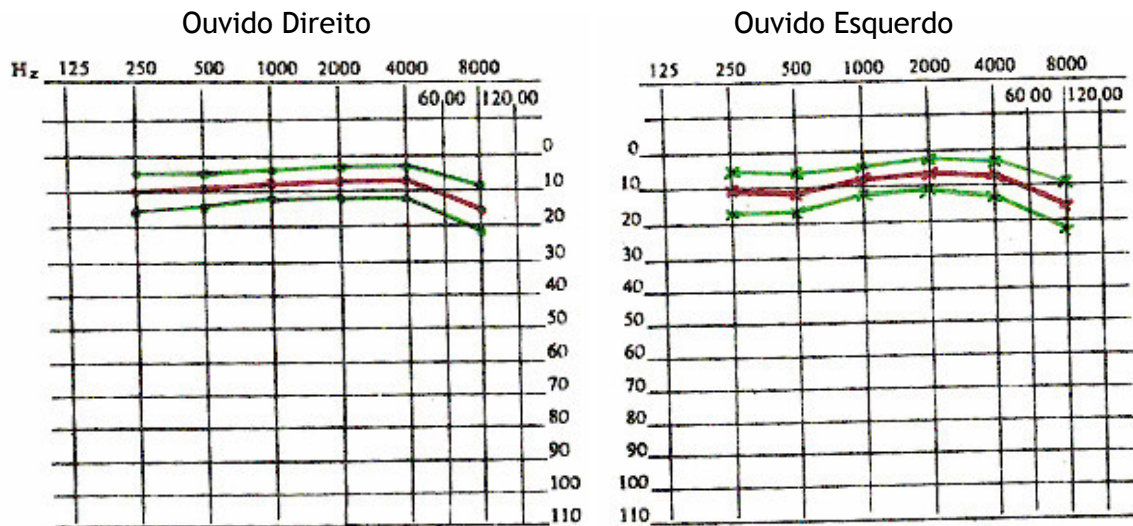


Figura 28 - Audiogramas de caracterização do Grupo Controlo segundo os limiares auditivos médios (dB HL) (linha a vermelho) e respectivo desvio padrão (linhas a verde) obtidos nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, para os dois ouvidos.

A análise da Figura 28 permite-nos verificar que os limiares auditivos médios para todas as frequências avaliadas e para os dois ouvidos são coerentes com os valores da normalidade, isto é, situam-se entre os 0 e os 20 dB HL. Podem-se então considerar limiares auditivos característicos de uma audição normal. A média dos limiares tonais a 500, 1000 e 2000 Hz é 8,4 Hz.

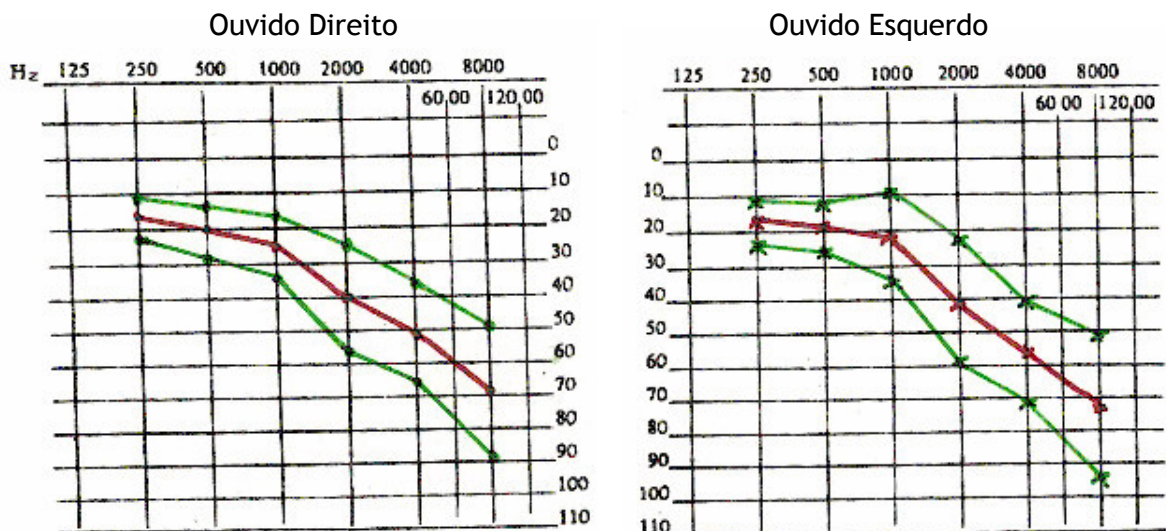


Figura 29 - Audiogramas de caracterização do Grupo de Estudo segundo os limiares auditivos médios (dB HL) (linha a vermelho) e respectivo desvio padrão (linhas a verde) obtidos nas frequências de 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz, para os dois ouvidos.

A análise da Figura 29 permite-nos verificar que os limiares auditivos médios para todas as frequências analisadas são coerentes com perda auditiva neurossensorial, bilateral e simétrica, nas frequências mais altas, característica de presbiacusia. Isto é, a perda ocorre na mesma proporção para os dois ouvidos pois os limiares são semelhantes e, um aumento da frequência leva a um aumento no limiar auditivo. A média dos limiares tonais a 500, 1000 e 2000 Hz é 27,3 Hz.

5.2 AUDIOMETRIA VOCAL

5.2.1 Análise descritiva dos limiares de percepção auditiva

Na Tabela 3 é apresentada a análise descritiva dos limiares de percepção auditiva dos indivíduos dos dois grupos que compõe a amostra. São apresentados os valores do limiar de detecção, do limiar de reconhecimento da fala (SRT) e do índice percentual de reconhecimento da fala (IPRF) para as duas vozes utilizadas como estímulos.

Grupo	Voz	Parâmetros	N	Média	Mediana	Desvio Padrão
Grupo Controlo	Voz Feminina	Limiar de detecção	10	7,5	7,5	2,64
		SRT	5	15	15	5
		IPRF (100%)	10	27,5	30	6,35
	Voz Masculina	Limiar de detecção	10	10	7,5	7,5
		SRT	5	16	15	4,18
		IPRF (100%)	10	32	30	4,83

Grupo de Estudo	Voz Feminina	Limiar de detecção	10	23,5	22,5	9,44
		SRT	7	32,1	35	10,35
		IPRF (100%)	10	53	50	8,23
	Voz Masculina	Limiar de detecção	10	23,5	22,5	9,44
		SRT	7	34,29	35	8,86
		IPRF (100%)	10	52	50	12,29

Tabela 3- Caracterização do Grupo Controlo e do Grupo de Estudo segundo os limiares de percepção (dB HL) obtidos na audiometria vocal, para as duas vozes.

Através da análise da Tabela 3 podemos aferir que, para o Grupo Controlo, os valores medianos para os três parâmetros avaliados são iguais para as duas vozes (masculino e feminino). O limiar de detecção ocorre a uma intensidade de 7,5 dB HL, o limiar de reconhecimento da fala (SRT), embora só exista para 5 indivíduos, ocorre aos 15 dB HL. O valor do SRT é coerente com os valores obtidos através da audiometria tonal, pois não difere mais de 10 dB do valor médio dos limiares tonais a 500, 1000 e 2000 Hz, que é 8,4 Hz. Apesar do índice percentual de reconhecimento da fala (IPRF) se definir como a percentagem de palavras repetidas 35 dB acima do SRT, o máximo é 100 % e este é atingido logo aos 30 dB HL.

Para o Grupo de Estudo, os valores medianos dos três parâmetros avaliados também são iguais para as duas vozes. O limiar de detecção ocorre a uma intensidade de 22,5 dB HL, o limiar de reconhecimento da fala, embora só exista para 7 indivíduos, ocorre aos 35 dB HL e os 100 % de palavras repetidas são atingidos a uma intensidade de 50 dB HL. O valor do SRT é coerente com os valores obtidos através da audiometria tonal, pois não difere mais de 10 dB do valor médio dos limiares tonais a 500, 1000 e 2000 Hz, que é 27,3 Hz.

Verifica-se a existência de diferenças entre os dois grupos para os três parâmetros avaliados. Do Grupo Controlo para o de Estudo ocorre um aumento do limiar de detecção de 15 dB, o SRT é atingido 20 dB acima e, embora se tenham atingido índices percentuais de 100 % nos dois grupos, as intensidades a que ocorrem diferem de 20 dB.

Um IPRF de 100 % implica uma boa percepção da linguagem oral. Isto significa que, apesar de apresentarem perda auditiva, os indivíduos do Grupo de Estudo mantêm um bom nível de percepção auditiva, embora a uma intensidade mais elevada que o Grupo Controlo.

5.2.2 Comparação da percentagem de acertos dos dois grupos para cada género de voz

% Acertos	Voz	Grupo	Mediana	Valor-p
0%	F	Controlo	7.50	0.000
		Estudo	22.50	
	M	Controlo	7.50	0.000
		Estudo	22.50	
20% - 40%	F	Controlo	12.50	0.114
		Estudo	25.00	
	M	Controlo	10.00	0.071
		Estudo	25.00	
40% - 60%	F	Controlo	15.00	0.010
		Estudo	35.00	
	M	Controlo	15.00	0.005
		Estudo	35.00	
60% - 80%	F	Controlo	17.50	0.003
		Estudo	32.50	
	M	Controlo	20.00	0.000
		Estudo	40.00	
100%	F	Controlo	30.00	0.000
		Estudo	50.00	
	M	Controlo	30.00	0.000
		Estudo	50.00	

Tabela 4 - Comparação da percentagem de acertos para determinado género de voz para os dois grupos. Utilizado o Teste Mann-Whitney (valor-p de significância de 5 %).

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram a existência de diferenças estatisticamente significativas (valor-p inferior a 0,05) para todos os intervalos de percentagem de acertos, excepto o intervalo de 20 a 40 % de

acertos, na percepção das duas vozes pelos dois grupos.

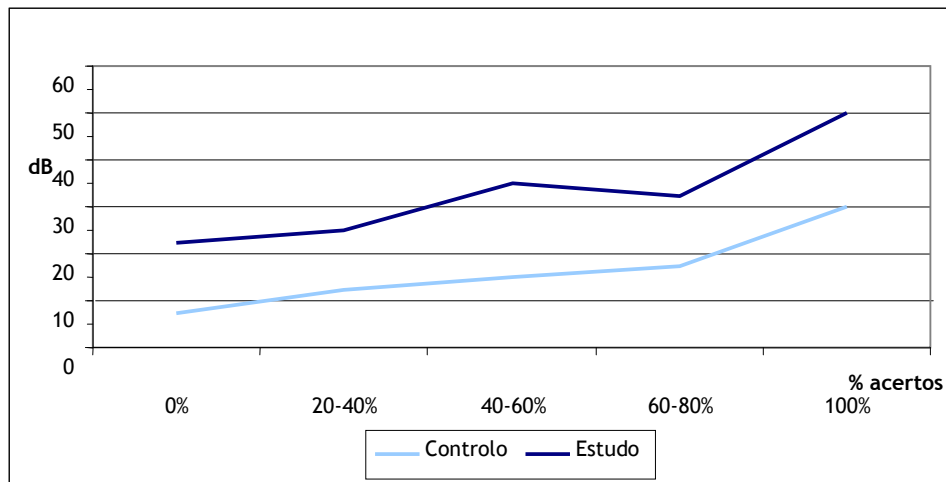


Gráfico 1 - Comparação da percentagem de acertos consoante o grupo, para a voz feminina.

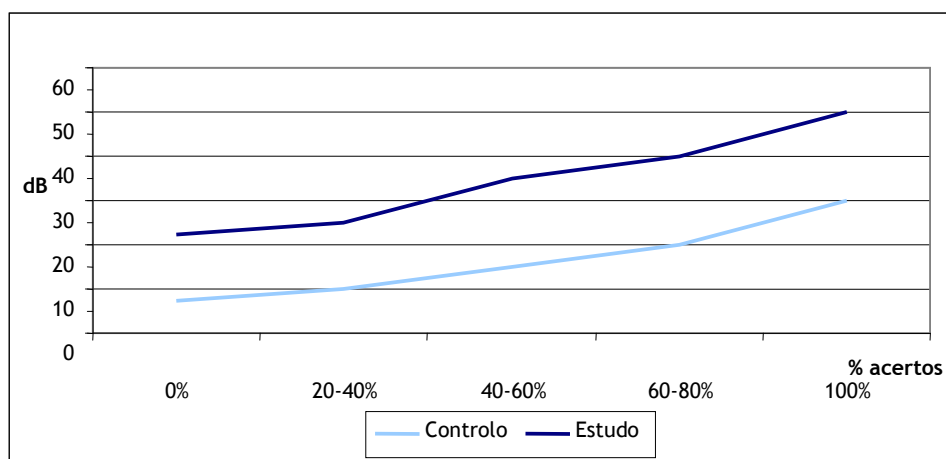


Gráfico 2 - Comparação da percentagem de acertos consoante o grupo, para a voz masculina.

Os Gráficos 1 e 2 representam os dados da Tabela 4, comprovando que a mesma percentagem de acertos é alcançada para intensidades significativamente mais baixas no Grupo Controlo do que no Grupo de Estudo, excepto para uma percentagem de acertos entre os 20 e os 40 %, devido, talvez, ao reduzido número de dados obtidos para este intervalo de percentagens.

Estes resultados são coerentes com os limiares auditivos obtidos através da audiometria tonal. Os limiares auditivos já eram inferiores no Grupo Controlo

em relação ao Grupo de Estudo, sendo natural que os limiares de percepção sigam a mesma tendência, visto que Grupo Controlo não apresenta perda auditiva ao contrário do Grupo de Estudo.

5.2.3 Comparação da percentagem de acertos consoante o género da voz para cada grupo

% Acertos	Grupo	Voz	Mediana	Valor-p
0%	Controlo	F	7.50	1.000
		M	7.50	
	Estudo	F	22.50	1.000
		M	22.50	
20% - 40%	Controlo	F	12.50	1.000
		M	10.00	
	Estudo	F	25.00	1.000
		M	25.00	
40% - 60%	Controlo	F	15.00	0.317
		M	15.00	
	Estudo	F	35.00	1.000
		M	35.00	
60% - 80%	Controlo	F	17.50	0.317
		M	20.00	
	Estudo	F	32.50	0.317
		M	40.00	
100%	Controlo	F	30.00	0.109
		M	30.00	
	Estudo	F	50.00	0.705
		M	50.00	

Tabela 5 - Comparação da percentagem de acertos consoante o género da voz para cada grupo. Utilizado o Teste Wilcoxon (valor-p de significância de 5 %).

A análise da Tabela 5 permite aferir que quer no Grupo Controlo quer no Grupo de Estudo, não existe diferença estatisticamente significativa na percentagem de acertos consoante a voz seja feminina ou masculina. Os valores-p obtidos para todos os intervalos de percentagem são superiores a 5 %.

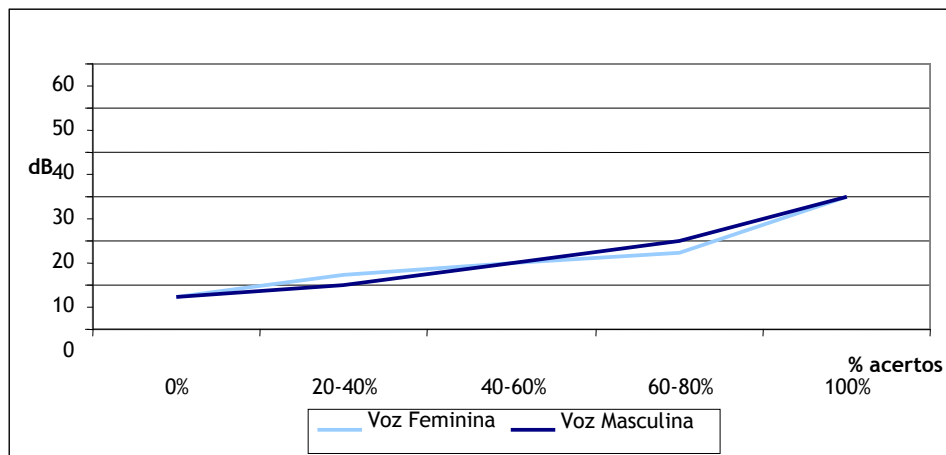


Gráfico 3 - Comparação da percentagem de acertos consoante o género da voz, para o Grupo Controlo.

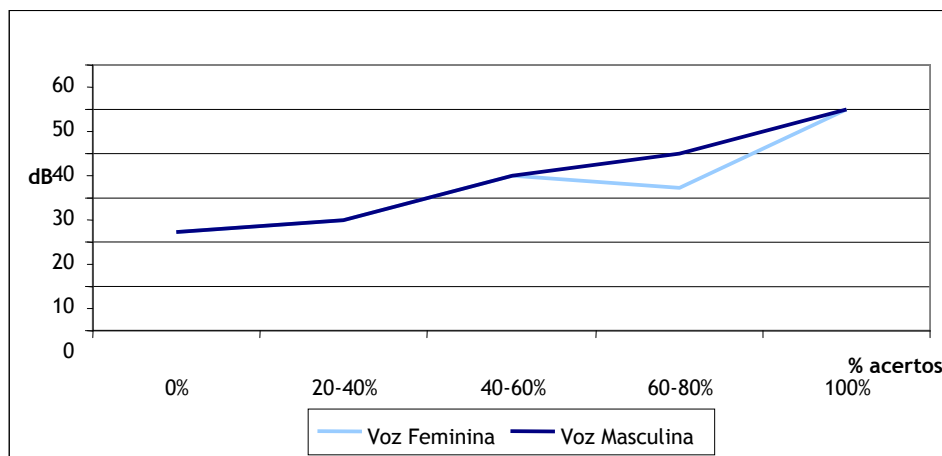


Gráfico 4 - Comparação da percentagem de acertos consoante o género da voz, para o Grupo de Estudo.

Os Gráficos 3 e 4 representam os resultados da Tabela 5, podendo-se comprovar que o facto da voz ser feminina ou masculina não influencia a percentagem de acertos, quer no Grupo Controlo quer no Grupo de Estudo. As linhas apresentadas nos dois gráficos são praticamente coincidentes para as duas vozes.

Estes resultados são expectáveis para o Grupo Controlo, um grupo que apresenta uma audição normal, percebendo tão bem os sons mais agudos como os sons mais graves. Para os indivíduos do Grupo de Estudo, visto perderem audição nas frequências mais altas, seria de esperar que percebessem melhor a voz masculina, uma voz considerada mais grave, mas tal não se verifica.

5.3 ANÁLISE DO SINAL E *SHIFT* DE FREQUÊNCIAS

5.3.1 *Shift* de frequências

De seguida, é apresentado um exemplo representativo do resultado do deslocamento das frequências que compõe um sinal sonoro.

Exemplo 1 - Deslocamento de 250 Hz do sinal sonoro da palavra “alma” na voz feminina. Este deslocamento efectuou-se no sentido das baixas frequências (*vide* Anexo 4 - CD de dados\Exemplo 1)

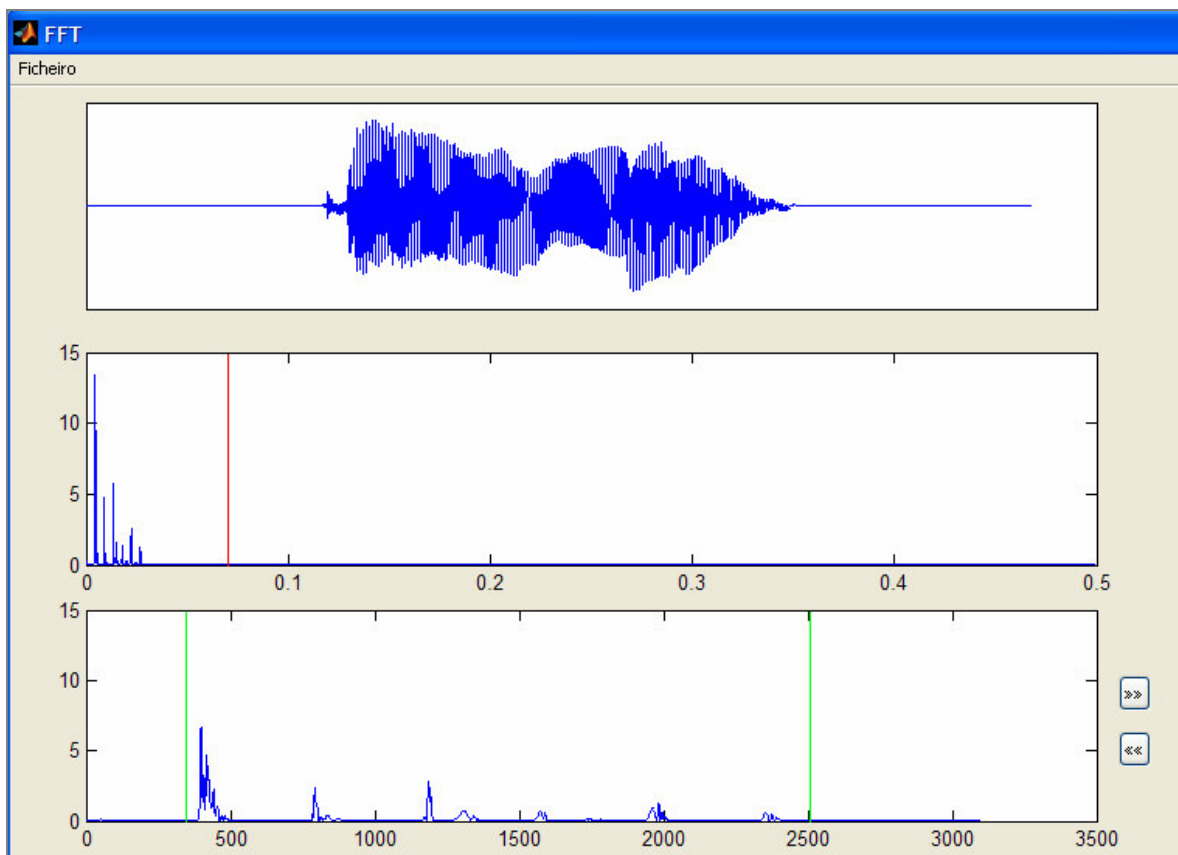


Figura 30 - Representação gráfica do sinal/palavra “alma” na voz feminina, no espaço tempo, no espaço das frequências e selecção da zona do sinal a deslocar 250 Hz para as baixas frequências. (*vide* Anexo 4 - CD de dados\Exemplo 1\alma_feminino.wav)

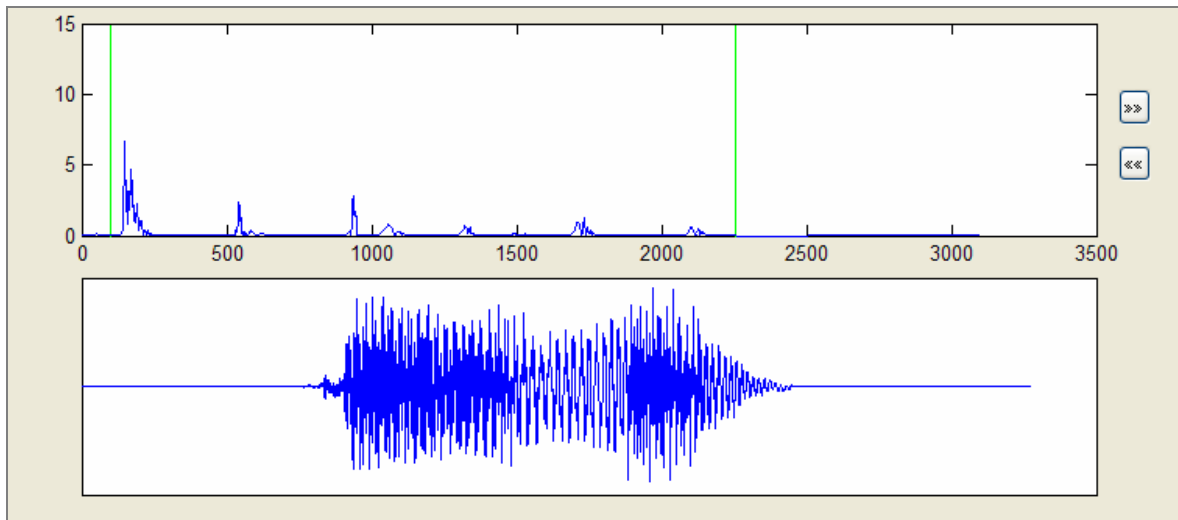


Figura 31 - Representação gráfica do sinal/palavra “alma” na voz feminina deslocado 250 Hz para as baixas frequências e novamente no espaço das frequências, já modificado. (vide Anexo 4 - CD de dados\Exemplo 1\alma_feminino_-250Hz.wav)

A comparação áudio da palavra “alma” antes e depois do *shift* de frequências, permitiu verificar que a transformação da palavra ocorreu com mínima distorção e que realmente está um pouco mais grave. (vide Anexo 4 - CD de dados\Exemplo 1, os ficheiros áudio “alma_feminino.wav” e “alma_feminino_-250Hz.wav”)

Outros testes operacionais foram efectuados em outras tantas palavras.

5.3.2 Análise do sinal

A análise da composição em frequência da voz feminina e da voz masculina que fazem parte deste estudo foi realizada através da análise do espectro de frequência de algumas palavras das listas de palavras gravadas. Nas Figuras 32 e 33 encontram-se representados os espectros de frequência da palavra “alma” na voz feminina e na voz masculina, respectivamente. (vide Anexo 4 - CD de dados\Exemplo 1, os ficheiros áudio “alma_feminino.wav” e “alma_masculino.wav”)

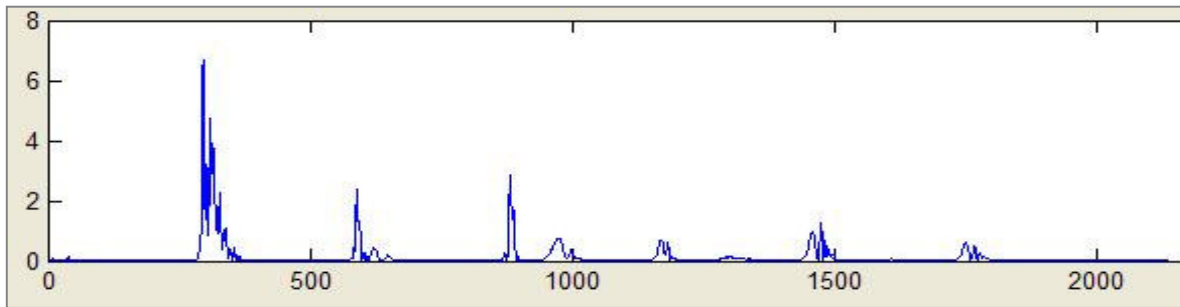


Figura 32 - Espectro de frequência da palavra “alma” na voz feminina.

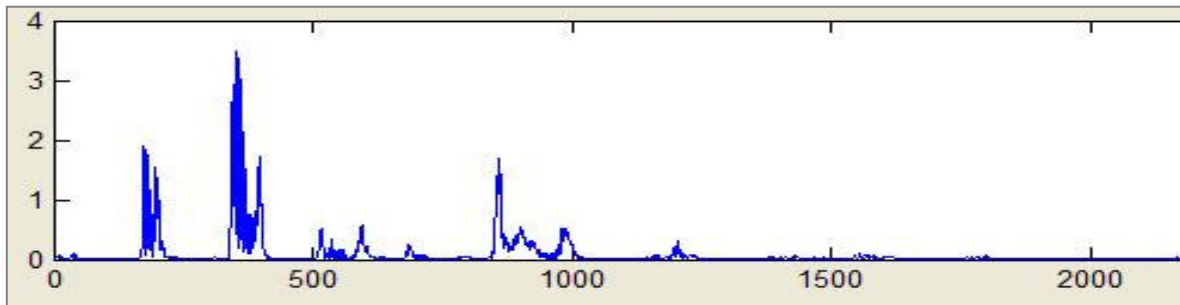


Figura 33 - Espectro de frequência da palavra “alma” na voz masculina.

A análise das Figuras 32 e 33 permite-nos verificar que, apesar de os espectros serem diferentes, a composição dos harmônicos apresenta semelhanças consideráveis tal como se esperaria, visto serem as mesmas palavras. Diríamos (com abuso calculado) que as duas palavras apresentam timbres diferentes.

Apesar de o espectro da voz feminina estar mais localizado para frequências mais altas que o espectro da voz masculina, as diferenças afiguram-se pouco significativas e as vozes não se podem considerar totalmente distintas em frequência. A voz feminina aqui representada não é muito mais aguda que a voz masculina, nem esta é muito mais grave que a voz feminina.

6. Discussão

Após a realização deste estudo e do tratamento dos dados recolhidos, são várias as ilações a retirar. Verificou-se que os dois grupos em estudo, o Grupo Controlo e o Grupo de Estudo, satisfizeram os critérios de inclusão. Ambos apresentaram timpanogramas do tipo A, confirmando a ausência de problemas na integridade do sistema de transmissão do ouvido médio, excluindo uma perda auditiva condutiva. Os limiares auditivos obtidos através da audiometria tonal liminar foram, para o Grupo Controlo, coerentes com uma audição normal e, para o Grupo de Estudo, coerentes com uma perda auditiva neurosensorial, bilateral e simétrica, para as altas frequências, característica de presbiacusia.

Os limiares de percepção auditiva obtidos através da audiometria vocal foram coerentes com os limiares auditivos obtidos através da audiometria tonal. Ou seja, o nível de percepção auditiva satisfaz o tipo de audição que cada grupo apresentava. O Grupo Controlo apresentou limiares de percepção mais baixos que o Grupo de Estudo, o que é verdadeiro, pois os limiares tonais também são inferiores. Mas, embora a intensidades diferentes, ambos os grupos atingiram um índice percentual de reconhecimento da fala de 100 %. Isto é, o Grupo Controlo atingiu os 100 % a uma intensidade de 30 dB HL enquanto que para o Grupo de Estudo isto só aconteceu a uma intensidade de 50 dB HL. É de realçar que os indivíduos do Grupo de Estudo apresentam uma boa percepção da linguagem oral, para o seu nível de audição, embora apresentem perda auditiva.

A comparação da percentagem de acertos na audiometria vocal, para cada grupo e para cada género de voz (voz feminina e voz masculina) mostrou que o Grupo Controlo atinge a mesma percentagem de acertos que o Grupo de Estudo mas a intensidades mais baixas. Existem diferenças estatisticamente significativas para todos os intervalos de percentagem de acertos, excepto para o intervalo de 20 a 40 % de acertos. Esta excepção deve resultar da obtenção de poucos dados para este intervalo. As diferenças na percepção dos dois grupos, para as duas vozes, foram coerentes com os limiares de percepção e com os limiares tonais. O Grupo de Estudo, apresentando perda neurosensorial, percebe as mesmas palavras que o Grupo Controlo, todavia a uma intensidade

superior. Por exemplo, o Grupo Controlo atinge uma percentagem de acertos entre 40 e 60 % a uma intensidade de 15 dB HL, enquanto que o Grupo de Estudo necessita de uma intensidade de 35 dB HL para atingir a mesma percentagem de acertos.

A comparação da percentagem de acertos na audiometria vocal, para cada género de voz, para cada grupo, mostrou que tanto o Grupo Controlo como o Grupo de Estudo percebem da mesma forma as duas vozes, isto é, a percentagem de acertos é a mesma, para cada grupo, quer o estímulo seja de uma voz feminina ou de uma voz masculina. Não existem diferenças estatisticamente significativas para todos os intervalos de percentagem de acertos. Este resultado é expectável para o Grupo Controlo, pois apresentando uma audição normal, é natural perceber qualquer tipo de som, independentemente da sua frequência. Contudo, para o Grupo de Estudo que apresentava uma perda neurossensorial nas altas frequências, seria de esperar que a voz masculina, sendo mais grave e centrada em frequências mais baixas, fosse melhor percebida. No entanto, os resultados não verificam tal aceção. Uma possível explicação para este facto reside no número reduzido de elementos que constituem a amostra não traduzindo, por isso, uma verdadeira representação da população. Podemos especular que uma amostra maior e mais representativa levaria a resultados diferentes.

A análise realizada ao espectro de frequência da mesma palavra dita em voz masculina e em voz feminina permitiu verificar que, as duas vozes escolhidas para este estudo não são tão distintas em frequência como seria aconselhável para um estudo de prospecção. Apesar de a voz masculina ser mais grave e estar mais centrada em frequência mais baixas que a voz feminina as diferenças não são suficientes por forma a representarem uma voz realmente grave e outra realmente aguda. Este aspecto contribuiu, com certeza, para os resultados obtidos, embora não possamos afirmar que este tenha sido o factor determinante para não existirem diferenças significativas na percepção das duas vozes para o Grupo de Estudo.

Foi concretizado o desenvolvimento do *shift* de frequências. Mostrou ser uma aplicação viável, de fácil utilização por quem tenha conhecimentos básicos de processamento de sinal e, o mais importante, consegue-se realmente

deslocar um sinal no espaço das frequências de forma a transformá-lo num sinal com outra composição em frequência, mais grave ou mais agudo, apresentando uma distorção mínima que porventura pode ser resolvida se um tratamento mais fino for desenvolvido para o sinal.

7. Conclusão

Este trabalho apresenta um estudo da melhoria de audição através da alteração das frequências sonoras. O objectivo é contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das próteses auditivas, de forma a adequá-las às necessidades de quem delas necessita, avaliando a viabilidade científica ou funcional de se construir um aparelho auditivo que altere as frequências sonoras de forma a que as pessoas com perda auditiva neurossensorial consigam perceber/ouvir melhor os sons do quotidiano. Este estudo foi abordado de duas formas, verificando a perda de audição nas frequências mais agudas nas pessoas que apresentam perda auditiva neurossensorial e avaliando a viabilidade do desenvolvimento de um *shift* de frequências que consiga mover um sinal mais agudo para frequências mais graves.

A avaliação do nível de percepção e os resultados estatísticos obtidos através da análise da resposta dos dois grupos em estudo a dois estímulos (duas vozes) diferentes (um mais grave e outro mais agudo) resultou na ausência de diferenças estatisticamente significativas na percepção dos dois estímulos pelos dois grupos.

O desenvolvimento do *shift* de frequências revelou-se viável e funcional. Portanto, devem ser iniciados estudos que permitam realizar o mesmo protocolo a uma amostra de maior dimensão e, eventualmente, avaliar a viabilidade tecnológica da construção de próteses auditivas que incorporem este algoritmo.

Visto estarem reunidas todas as condições para a realização deste projecto, de entre as quais salientamos o protocolo estabelecido com os Hospitais da Universidade de Coimbra, a boa qualidade de gravação das listas de palavras, a aparelhagem (sistema computador-placa de som-audiómetro) que permite um exame de boa qualidade com a minimização de ruído e o desenvolvimento do *software* necessário à realização do exame e do *shift* de frequências, seria interessante dar-lhe continuidade.

Como os resultados dos exames não foram os ideais, poderia pensar-se em aumentar o número de elementos da amostra e arranjar um conjunto de vozes

mais distintas em frequência.

Poderia aplicar-se o *shift* de frequências às 8 listas de palavras e testar as “novas” listas num novo Grupo de Estudo com as mesmas características do utilizado neste estudo e até mesmo introduzir ruído de fundo às listas de palavras para tornar o exame mais parecido com o quotidiano.

Uma questão que foi analisada estatisticamente mas que não foi abordada ao longo deste trabalho por não constar dos objectivos, foi avaliar se o sexo dos indivíduos do Grupo de Estudo influencia a percentagem de acertos em determinado tipo de voz. Verificou-se que a percentagem de acertos consoante o género da voz é independente do sexo do indivíduo. Contudo, a tendência é para que os indivíduos do sexo feminino percebam melhor a voz masculina, ainda que a diferença não seja estatisticamente significativa, pois é necessária uma maior intensidade para a voz feminina para a mesma percentagem de acertos. Esta seria uma questão a desenvolver numa possível continuidade deste estudo, nomeadamente no caso de se aumentar o número de elementos da amostra.

Referências Bibliográficas

- [1] KIESSLING, J. et al (2003). Candidature for and delivery of audiological services: Special needs of older people. *Int J Audiol* 42 (Suppl 2): 2S92-S101.
- [2] WHO (2001). *International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)*. Geneva: WHO. http://www3.who.int/icf/icftemplate_cfm.
- [3] PICHORA-FULLER, M. K. e SINGH, G. (2006). Effects of Age on Auditory and Cognitive Processing: Implications for Hearing Aid Fitting and Audiologic Rehabilitation. *Trends in Amp*, 10: 29-54.
- [4] HAIN, T. C. (2002). *Hearing Loss*. Disponível em: <http://www.american_hearing_org/disorders/hearing/hearing_loss.html>. Acesso em: 5 Junho 2007.
- [5] DOBIE, R. A. e VAN HEMEL, S. (2004). *Hearing Loss: Determining Eligibility for Social Security Benefits*. Board on Behavioural, Cognitive and Sensory Sciences and Education. Washington, DC: National Academy Press.
- [6] KRICOS, P. B. (2006). Audiologic management of older adults with hearing loss and compromised cognitive/psychoacoustic auditory processing capabilities. *Trends in Amp*, 10: 1-28.
- [7] SOUZA, P. E. (2002). Effects of Compression on Speech Acoustics, Intelligibility and Sound Quality. *Trends in Amp*, 6: 131-165.
- [8] STROM, K. (2002). The HR 2002 dispenser survey. *Hear Rev*, 9: 14-32, 2002b.
- [9] LEVITT, H. (2007). A Historical Perspective on Digital Hearing Aids: How Digital Technology has changed Modern Hearing Aids. *Trends in Amp*, 11: 7-24.

- [10] FABRY, D. (2003). Nonlinear hearing aids and verification of fitting targets. *Trends in Amp*, 7: 99-115.
- [11] EDWARDS, B. (2007). The Future of Hearing Aid Technology. *Trends in Amp*, 11: 31-45.
- [12] Enciclopédia Ilustrada de Saúde. *Anatomia do Ouvido*. Disponível em: <<http://www.biobras.com.br/adam/encyclopedia/ency/article/001054.htm>>. Acesso em: 6 Junho 2007.
- [13] CANALIS, R. F. e LAMBERT, P. R. (2000). *The Ear: Comprehensive Otology*. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins.
- [14] TAVARES, L. V. et al, *O Ouvido Humano*. Disponível em: <http://www.musicaeadoracao.com.br/audicao/ouvido_humano.htm>. Acesso em: 6 Junho 2007.
- [15] BERNE, R. M. et al (2004). *The Special Senses*. Physiology, 5ª Edição, Missouri, Mosby.
- [16] NISHIDA, S. M. (2007). Sentido da Audição e do Equilíbrio. *Curso de Fisiologia 2007 Ciclo de Nefrologia*, Departamento de Fisiologia, IB Unesp-Botucatu.
- [17] BENTZ, B. G., HUGHES, C. A. (2002). *Barotrauma*. Disponível em: <<http://www.american-hearing.org/disease/barotrauma.html>>. Acesso em: 7 Junho 2007.
- [18] UNIDAD DOCENTE DE OTORRINOLARINGOLOGIA (2005). Capitulo 10 - Embriologia, Anatomia y Fisiologia del Organo de la Audicion. *Apuntes de Otorrinolaringologia*, Universidad de Chile.
- [19] VELASCO, P. A. (2000). *Sistema de Audición*. Disponível em:

<<http://bib0.unsl.edu.ar/baea/prof-cs/numero13/index.html>>. Acesso em: 8 Junho 2007.

[20] VILELA, A. L. M., *Audição*. Disponível em: <<http://www.afh.bio.br/>>. Acesso em: 9 Junho 2007.

[21] SUNDSTEN, J. W., MULLIGAN, K. A. (1998). *Auditory System*. Disponível em: <<http://www9.biostr.washington.edu/cgi-bin/DA/imageform>>. Acesso em: 9 Junho 2007.

[22] MACKAY, W. A. (1999). *Neurofisiologia Sem Lágrimas*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.

[23] MIROL, V. (2002). *Ouvido Humano*. Disponível em: <http://www.clubedoaudio.com.br/MateriaTecnica/ouvido_humano.aspx>. Acesso em: 9 Junho 2007.

[24] LAGNADO, S. J. S. e VALLE, L. E. R., *Testando a sua Audição*. Disponível em: <http://www.musicaeadoracao.com.br/audicao/testando_audicao.htm>. Acesso em: 10 Junho 2007.

[25] (2007). *Dicionário Editora da Língua Portuguesa 2008*. Porto Editora.

[26] LEE, K. J. (1999). *Essential Otolaryngology: Head & Neck Surgery*, 7ª Edição, Prentice Hall.

[27] WHITFIELD, P. et al (1992). *O Corpo Humano, Os Sentidos*. Amadora, Ediclube.

[28] PITEIRA, A. R. et al, *Fisiologia Celular - Sistema Nervoso Periférico*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

[29] JURE, L. (2003). *Sonoridad*. Disponível em:

<<http://www.eumus.edu.uy/docentes/jure/psicoacustica/sonoridad1.html>>.

Acesso em: 10 Junho 2007.

[30] DIÓGENES, C. (2005). *Provas Auditivas I*.

[31] ESCUELA DE MEDICINA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, *Impedanciometría*. Disponível em: <<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ApuntesOtorrino/Impedanciometria>>. Acesso em: 10 Junho 2007.

[32] MAFRA, A. (2005). *Exame Nacional de Cursos*. Disponível em: <http://www.geocities.com/andrea_mafra/provao.html>. Acesso em: 10 Junho 2007.

Bibliografia

BERG, R. E. e STORK, D. G., *The Physics of Sound*. Prentice-Hall, Inc.

JOSEPHS, J. J., *The Physics of Musical Sound*. D. Van Nostrand Company, Inc.

LEVARIE, S. e LEVY, E., *TONE - A Study in Musical Acoustics*. 2ª edição. The Kent State University Press.

LORD, H. W., GATLEY, W. S. e EVENSEN, H. A., *Noise Control for Engineers*. MacGraw-Hill Book Company.

SMITH, S. W. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. Disponível em: <http://www.dspguide.com/>.

Anexo 1 - Pedido de autorização do estudo

Exmo. Sr.

Presidente da Comissão de Ética dos
Hospitais da Universidade de Coimbra

Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques, estudante (n.º 501022527) do 5.º ano da Licenciatura em Engenharia Biomédica, vem mui respeitosamente solicitar que V. Ex.ª se digne autorizar a realização do trabalho intitulado “Estudo da melhoria da audição por alteração das frequências sonoras”. Este trabalho surge no âmbito da disciplina de Projecto do 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica, licenciatura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em colaboração com a Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, e tem como orientador o Prof. Doutor António Paiva - Director do Serviço de Otorrinolaringologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra e Professor Catedrático da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra - e como supervisor o Eng. Francisco Caramelo - Assistente Convidado de Biofísica/Biomatemática da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra.

A acompanhar o presente requerimento encontram-se os seguintes documentos:

- Curriculum do investigador
- Autorização do Director do Serviço de Otorrinolaringologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra
- Parecer científico dado pelo Director do Serviço de Otorrinolaringologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra
- Modelo específico da Comissão de Ética
- Documento de informação ao doente e consentimento informado
- Protocolo
- Pedido de isenção de taxas moderadoras

Pede deferimento.

Coimbra, 11 de Outubro de 2006

(Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques)

Anexo 2 - Protocolo

UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

ENGENHARIA BIOMÉDICA

PROCOLO

PROJECTO

*ESTUDO DA MELHORIA DA AUDIÇÃO POR ALTERAÇÃO DAS
FREQUÊNCIAS SONORAS*

Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques
Orientador: Prof. Doutor António Manuel Diogo de Paiva
Supervisor: Engenheiro Francisco Caramelo

Coimbra, Outubro de 2006

Âmbito

Este trabalho surge no âmbito da disciplina de Projecto do 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica, licenciatura da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em colaboração com a Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra.

Resumo

O aumento da esperança média de vida² tem contribuído para um aumento da população idosa e, conseqüentemente, para o aumento do número de casos de patologias associadas ao envelhecimento. A perda de audição é um destes casos. De entre todas as privações sensoriais, a perda auditiva é aquela que produz um maior impacto no processo da comunicação, visto ser muito importante na medida em que dá informações essenciais para a integração das pessoas no mundo físico e social. A perda auditiva fomenta não só o sentimento de perda de “controlo” do ambiente, como efectivamente contribui para isso.

A deficiência auditiva pode ser súbita ou gradual, sendo esta última a que ocorre na maior parte dos casos. Para algumas pessoas, a intensidade com que ouvem vai simplesmente diminuindo gradualmente, enquanto que para outras, para além da diminuição da intensidade, existe também uma distorção na percepção das palavras e nos sons. As perdas auditivas revelam-se na dificuldade em ouvir e/ou perceber quer as pessoas quer o ambiente sonoro que nos rodeia para uma intensidade em que seria normal ouvir.

Visando melhorar a qualidade de vida destas pessoas é necessário criar condições para minimizar a perda das capacidades que sofrem por motivo do declínio pela idade. Uma das soluções que se tem vindo a adoptar é a utilização de dispositivos amplificadores do som, como as próteses auditivas. Estes dispositivos geralmente amplificam todas as frequências audíveis. No entanto, como a perda de audição não é uniforme em frequência e é, geralmente, acompanhada de uma alteração do limiar de dor, verifica-se que estes dispositivos não apresentam elevada adesão por quem deles necessita, devido ao incómodo que geram. De qualquer forma, próteses cada vez mais pequenas e de excelente qualidade sonora têm sido desenvolvidas, apesar de ainda estarem longe de se aproximarem da qualidade do nosso próprio ouvido em condições normais.

² A esperança média de vida à nascença, para um português, é de 76,9 anos.

Objectivo

O objectivo deste trabalho é avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um dispositivo que altere a frequência dos sons para uma banda de frequências cuja audição seja mais próxima do normal.

Metodologia

Numa fase inicial, proceder-se-á à escolha e elaboração de textos sonoros (gravações de voz) que integrem palavras cuja discriminação é impossibilitada em indivíduos que apresentem perda de audição. Estes textos serão alterados em frequência produzindo várias versões do mesmo texto em perfis frequenciais diferentes. Será elaborado e validado um questionário sobre os textos escolhidos que seja capaz de avaliar a compreensão do mesmo.

Realizar-se-ão testes audiométricos em 10 voluntários “normais” (jovens entre 18-20 anos) e 10 indivíduos com patologia surdez neurossensorial. Estes testes serão realizados no Serviço de Otorrinolaringologia do Bloco de Celas dos Hospitais da Universidade de Coimbra por um Técnico de Audiologia (Dr.^a Elizabete Grade). Isto será possível mediante autorização do Conselho de Administração dos Hospitais da Universidade de Coimbra e quando a amostra de 10 indivíduos “normais” já estiver definida. Estima-se que a duração dos testes seja de dois meses, dependendo sempre da frequência de atendimento ao Serviço supracitado de candidatos que se enquadrem no perfil traçado.

Os indivíduos submetidos aos testes serão informados do teor e do objectivo dos mesmos e ser-lhes-á solicitado o seu consentimento por escrito. Os testes são não invasivos e não colocam em qualquer risco os sujeitos que a eles se submetem.

Por fim, será realizado um estudo estatístico dos resultados obtidos. Visto existirem duas amostras distintas, uma com indivíduos “normais” e outra com indivíduos com patologia identificada e caracterizada, comparar-se-ão as duas amostras (servindo os indivíduos “normais” como grupo de controlo) e aferir-se-á a existência ou ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos relativamente aos parâmetros em estudo.

Este estudo servirá para avaliar a viabilidade científica de se construir um aparelho auditivo que altere as frequências sonoras de forma a que as pessoas com perda de audição consigam perceber/ouvir melhor o mundo que as rodeia. Caso se demonstre que o propósito aqui explanado é possível serão, em devido tempo, iniciados estudos que permitam avaliar a viabilidade tecnológica e económica destes dispositivos.

Anexo 3 - Documento de informação ao doente e Consentimento informado

DOCUMENTO DE INFORMAÇÃO AO DOENTE

O meu nome é Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques, sou estudante do 5.º ano da Licenciatura em Engenharia Biomédica e estou a desenvolver o meu Projecto de 5.º ano intitulado “Estudo da melhoria da audição por alteração das frequências sonoras”.

Os dados recolhidos neste exame servem para avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um dispositivo que ajude as pessoas a ouvir melhor por alteração da frequência dos sons.

A recolha dos dados é anónima e confidencial. Tem o direito de decidir livremente se quer ou não contribuir com os dados do seu exame para o meu estudo.

Se decidir não contribuir, em nada serão afectados os seus cuidados no hospital.

CONSENTIMENTO INFORMADO

Eu, _____
autorizo a realização do estudo de investigação “Estudo da melhoria da audição por alteração das frequências sonoras”, a realizar no âmbito da disciplina de Projecto do 5.º ano da licenciatura em Engenharia Biomédica por Joana Teixeira Albuquerque Gomes Marques. Declaro que li a carta de explicação do estudo e estou informado(a) acerca dos objectivos da investigação em curso e que me responderam de forma satisfatória a todas as questões. Compreendo as vantagens que há da minha autorização para este estudo e que tenho direito de colocar, agora e durante o desenvolvimento do mesmo, qualquer questão. Foram-me assegurados o anonimato e a confidencialidade dos dados.

Compreendo que sou livre de, a qualquer momento, desautorizar o uso dos dados na investigação em curso.

Nome _____

Investigador _____

Assinatura _____

Data ___/___/___