



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOFÍSICA E RADIOBIOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM BIOFÍSICA

LOCALIZAÇÃO DE FONTES SONORAS POR OUVINTES NORMAIS EM AMBIENTE REVERBERANTE

PEDRO DE LEMOS MENEZES

RECIFE, 2002

PEDRO DE LEMOS MENEZES

**Localização de Fontes Sonoras por Ouvintes Normais em
Ambiente Reverberante**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Biofísica e
Radiobiologia da Universidade
Federal de Pernambuco, como parte
dos requisitos à obtenção do grau de
Mestre em Biofísica.

Orientador: Prof. Dr. MAURICY MOTTA

Co-orientador: Prof. Dr. SILVIO CALDAS NETO

RECIFE, 2002

PEDRO DE LEMOS MENEZES

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOFÍSICA E RADIOBIOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM BIOFÍSICA

Localização de Fontes Sonoras por Ouvintes Normais em
Ambiente Reverberante

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Maria Ângela G. Feitosa

Depto. de Processos Psicológicos Básicos – UnB

Prof. Dr. Geber L. Ramalho

Depto. de Sistemas de Computação – UFPE

Prof. Dr. Silvio Caldas Neto

Depto. de Cirurgia – UFPE

Prof. Dr. Carlos Manuel Carneiro

Depto. de Biofísica e Radiobiologia – UFPE

Prof. Dr. Davi Pereira Santanta – UFPE

Depto. de Farmácia - UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOFÍSICA E RADIOBIOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM BIOFÍSICA

Reitor:

Prof. Dr. **MOZART NEVES RAMOS**

Vice-Reitor:

Prof. Dr. **GERALDO JOSÉ MARQUES PEREIRA**

Pró-Reitor para Assuntos de Pesquisa e Pós-Graduação:

Prof. Dr. **PAULO ROBERTO FREIRE CUNHA**

Diretor do Centro de Ciências da Saúde:

Prof. Dr. **GILSON EDMAR GONÇALVES E SILVA**

Vice-Diretor do Centro de Ciências da Saúde:

Prof. Dr. **JOSÉ THADEU PINHEIRO**

Chefe do Departamento de Biofísica e Radiobiologia:

Prof. Dr. **FRANCISCO FERNANDES AMÂNCIO**

Coordenador do Mestrado em Biofísica:

Prof^a. Dr^a. **MARIA TERESA JANSEM A. CATANHO**

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Em especial aos voluntários que participaram da pesquisa e a Ilka, minha noiva, que tanto me ajudou. Aos meus Pais, Abel e Evani, a minha irmã, Juana, a Rogério Maciel, e aos professores Mauricy Motta, Silvio Caldas Neto, Ruth Litovsky, Tetsuo Tashiro, Maria Ângela Guimarães Feitosa e Geber Lisboa Ramalho. Agradeço também ao funcionário do departamento de Biofísica e Radiobiologia, Fredson Soares, e às fonoaudiólogas Giza Posternak e Lílian Muniz, pela ajuda com os equipamentos.

Sumário

Agradecimentos	v
Sumário	vi
Relação das figuras	x
Relação das tabelas	xi
Símbolos e Abreviaturas.....	xii
Resumo	xiii
Abstract.....	xiv
Capítulo 1	16
Introdução.....	16
1.1 Fundamentos	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
Capítulo 2	18
Revisão da literatura	18
2.1 Localização sonora	18
2.1.1 Localização e mancha de localização	18
2.1.2 Localização sonora espacial dos animais.....	19
2.1.3 Localização sonora espacial humana	22
2.1.3.1 Diferença de intensidade interaural.....	23
2.1.3.2 Diferença de tempo interaural	24
2.1.3.3 Variações espectrais transferidas anatomicamente.....	26

2.1.4 Movimentos da cabeça	27
2.1.5 Parâmetros adicionais	29
2.1.5.1 Efeito precedente	29
2.1.5.2 Salas reverberantes	29
2.1.5.3 Visão e localização do som.....	31
2.1.6 Localização sonora nos diversos planos	32
2.1.6.1 Localização sonora no plano horizontal	33
2.1.6.2 Localização sonora no plano vertical	34
2.1.7 Localização sonora à distância.....	36
2.1.8 Localização de ruídos.....	37
2.2 Mecanismos de localização sonora do tronco-cerebral.....	38
2.3 Cognição auditiva.....	38
Capítulo 3	40
Métodos	40
3.1 Local.....	40
3.2 Amostra	40
3.2.1 Critérios de inclusão	40
3.2.2 Critérios de exclusão	41
3.2.3 Amostragem	41
3.2.4 Consentimento livre e esclarecido	41
3.4 Procedimentos	42
3.4.1 Grupos estudados	42
3.4.1.1 Grupo piloto.....	42
3.4.1.2 Grupo teste	42
3.4.2 Coleta de dados.....	43

3.4.2.1 Medições anatômicas	43
3.4.2.2 Otoscopia	43
3.4.2.3 Audiometria tonal liminar.....	44
3.4.2.4 Imitanciometria	44
3.4.2.5 Teste de triagem do processamento auditivo central.....	44
3.4.6 Teste de localização da fonte sonora.....	45
3.4.6.1 Aparelhagem.....	45
3.4.6.2 Sala	49
3.4.6.3 Parâmetros adicionais.....	50
3.5 Análise estatística	50
Capítulo 4	52
Resultados.....	52
4.1 Características da amostra	52
4.2 Acertos na localização sonora espacial	54
4.2.1 Comparação entre os planos.....	54
4.2.1.1 Diferenças entre os sexos.....	55
4.2.2 Comparação entre as frequências sonoras	56
4.2.3 Relação entre acertos e idade	57
4.2.4 Relação entre os acertos e as estruturas anatômicas	58
4.2.4.1 Gênero	59
Capítulo 5	60
Discussão	60
5.1 Discussão do método.....	60
5.1.1 Estímulos sonoros	63
5.1.2 Respostas.....	66

5.2 Discussão dos resultados	67
Capítulo 6	70
Conclusões	70
6.1 Perspectivas.....	71
6.1.1 Perspectivas pessoais	71
6.1.2 Estudos futuros.....	72
Capítulo 7	73
Referências bibliográficas	73
Anexos	83
Anexo I - Curvas de ponderação	83
Anexo II - Curvas de audibilidade de Fletcher & Munson	84
Anexo III - Termo de consentimento livre e esclarecido	85
Anexo IV - Questionário.....	86
Anexo V – Fotos dos paquímetros.....	87
Anexo VI – Formulário para as medições anatômicas.....	88
Anexo VII - Aparelhos utilizados	89
Anexo VIII – Esquemas do gerador de sinal.....	90
Anexo IX – Sinal	91
Anexo X – Ruídos gerados	92
Anexo XI – Aparelhos calibradores.....	93
Anexo XII – Total de harmônicos dos estímulos utilizados	94
Anexo XIII - Protocolo I	95
Anexo XIV – Aparelho na sala reverberante.....	96

Relação das figuras

Figura 1 – Representação dos planos espaciais.....	19
Figura 2 – Comprimento da onda sonora em relação a distância interaural	25
Figura 3 – Modificações do espectro sonoro no pavilhão auditivo	27
Figura 4 – Córtex auditivo	32
Figura 5 – Alto-falantes do aparelho	46
Figura 6 – Voluntário sendo testado.....	46
Figura 7 – Controle C1 – Utilizado para indicar a origem da fonte sonora	47
Figura 8 – Controle C2 – Utilizado para a estimulação e obtenção de respostas	48
Figura 9 – Comparação do percentual de acerto entre os planos.....	54
Figura 10 – Percentual de acertos no plano horizontal, distribuídos por gênero.....	56
Figura 11 – Percentual de acertos nos três planos por frequência sonora	57
Figura 12 – Azimute (A) e Elevação (E) dos treze alto-falantes	62

Relação das tabelas

Tabela 1 – Estruturas e funções dos sistema auditivo dos animais	22
Tabela 2 – Descrição dos tamanhos das estruturas anatômicas	52
Tabela 3 – Medidas da distâncias interaurais distribuídas por gênero.....	53
Tabela 4 – Comparação entre os sexos, Teste t de Student	55
Tabela 5 – Correlação entre os acertos e os tamanhos anatômicos mensurados ...	58

Símbolos e Abreviaturas

λ – Comprimento de onda

μPa – Micro Pascal

A – Amplitude

CCEs – Células ciliadas externas

CCIs – Células ciliadas internas

cps – Ciclos por segundo

dB – Decibel

DII – Diferença de intensidade interaural

DTI – Diferença de tempo interaural

EOA – Emissão otoacústica

f – Frequência

f_0 – Frequência fundamental

F_p – Frequência percebida pelo ouvinte

F_r – Frequência real do som emitido por uma fonte sonora

Hz – Hertz

I – Intensidade

I_0 – Intensidade de referência

kHz – Quilo-Hertz

N/m^2 – Newton por metro quadrado

NA – Nível de audição

NIS – Nível de intensidade sonora

NPS – Nível de pressão sonora

VETA – Variações espectrais transferidas anatomicamente

VETRC – Variações espectrais transferidas relacionadas com a cabeça

V_f – Velocidade da fonte sonora em relação à terra

V_s – Velocidade do som

Resumo

A capacidade de localização sonora de 74 ouvintes normais numa sala reverberante, revestida parcialmente com material absorvente foi comparada levando-se em consideração sexo, idade e estruturas anatômicas, como o comprimento e largura do pavilhão e da concha, e a distância entre as orelhas. Três tipos de ondas quadradas, com freqüências fundamentais em 1 kHz, 2 kHz e 3 kHz, foram apresentadas aleatoriamente, em uma intensidade de 70 dBNPS. Os sujeitos eram treinados para posteriormente indicar a origem do som através de um console. O estimulador sonoro consiste de mais um console, uma estrutura circular horizontal de alumínio com 1 metro de raio com oito alto-falantes fixados a 45° entre cada um deles, e mais dois semicírculos perpendiculares de mesmo raio, defasados em 90°. Estes semicírculos tinham um alto-falante central e mais quatro, um de cada lado a 45° de elevação, totalizando treze fontes sonoras. Os resultados revelaram um número maior de acertos no plano horizontal, na freqüência de 1kHz, que se reduziram com o avanço da idade. No plano vertical sagital-mediano encontrou-se o maior número de erros em todas as freqüências. Também foram constatadas pequenas diferenças entre os sexos, principalmente em relação à localização azimutal, onde as respostas do sexo masculino sobressaíram-se em relação às do sexo feminino. Pretende-se dar continuidade ao estudo, analisando um faixa maior de freqüências e com grupos etários mais distribuídos.

Abstract

Sound localization capacity of 74 normal-hearing individuals was compared taking into account gender, age and anatomical structures, such as length and width of the pinna and concha, and distance between ears. Testing was carried out in a reverberant room, partially padded with absorbing material. Three types of square waves with fundamental frequencies of 1 kHz, 2 kHz, and 3 kHz were randomly presented at the intensity of 70 dBNPS. The subjects were trained to indicate sound origin through a console. The sounding stimulator had the addition of a command console and a horizontal-circular structure framed in aluminum rods with 1 meter radius. Eight speakers were set at 45° between each pair of them. The stimulator also has two more perpendicular semicircles structures with the same radius, dephased 90°. These semicircles had a central speaker and supported speakers one on each side at 45° of elevation, totaling thirteen sound sources. Results showed a larger number of correct localization identification achievements in the horizontal plane at 1 kHz frequency, which decreased with the aging progress. For the vertical sagittal plane a higher number of errors in all frequencies were found. Also, slight differences between gender were evident, mainly in relation to the azimuthal location, where male responses overlapped those of female counterparts. Further study on the subject matter is to be continued, within a greater array of frequencies should be analyzed of age groups.

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Fundamentos

Recentemente BLAUERT (1999), definiu como as principais características de localização de fontes sonoras, a diferença de fase e de intensidade do som entre uma orelha e outra, as reflexões, refrações e difrações das ondas sonoras no ambiente, nos ombros, no pavilhão e no conduto, e as pistas táteis e visuais.

Os estudos sobre localização sonora, entretanto, vêm sendo amplamente reproduzidos no meio científico, desde os trabalhos de Lord Rayleigh (1842-1919), observando-se, na maioria das vezes, apenas o plano espacial vertical sagital-mediano ou o plano horizontal, em câmaras anecóicas ou em campo livre. Porém, dificilmente o sexo ou a idade são considerados. Estes são alguns dos motivos que provavelmente levaram NEPOMUCENO (1994) a afirmar que ainda não foi formulada uma hipótese teórica que explicasse na íntegra os mecanismos fisiológicos da localização sonora por ouvintes normais, apesar de muitos fatores importantes já terem sido descobertos.

Assim, o presente estudo não tem a pretensão de esgotar o assunto em questão, mas se faz necessária uma investigação simultânea de mais de um plano espacial, que reproduza o ambiente fechado onde as pessoas comumente se encontram na maior parte do tempo, as salas reverberantes, e que leve em consideração variáveis como o sexo e a idade.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Investigar a capacidade de localização sonora de humanos ouvintes normais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Verificar a ocorrência de diferenças na localização sonora entre os três planos espaciais; horizontal, frontal e vertical sagital-mediano.
- Descrever a ocorrência de alterações na localização de fonte sonora entre as frequências de 1 kHz, 2 kHz e 3kHz.
- Identificar as diferenças entre os resultados, segundo as seguintes variáveis intervenientes: idade; sexo; distância entre as orelhas; comprimento e largura do pavilhão; e comprimento, largura, e profundidade da concha.

CAPÍTULO 2

Revisão da literatura

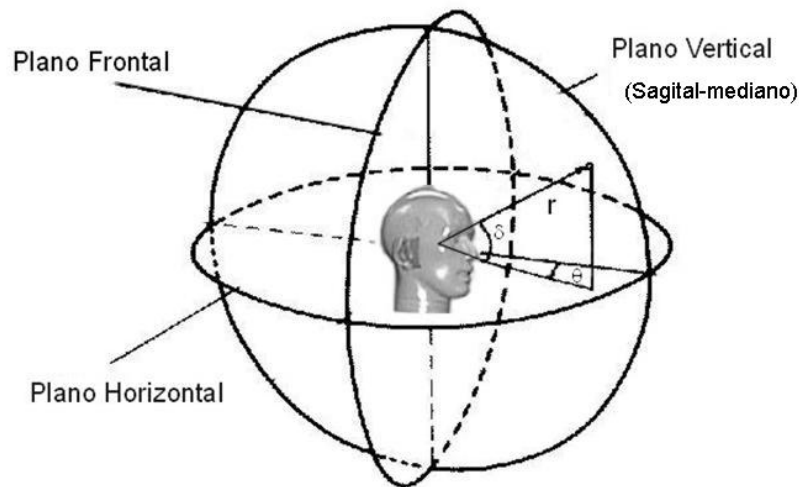
2.1 Localização sonora

2.1.1 Localização e mancha de localização

COELHO (1996) define localização como a regra pela qual um evento auditivo é relacionado com atributos específicos de um evento sonoro, a um outro evento, que também tenha relação com este evento auditivo. Esta localização, então, assume o sentido de função matemática que relaciona os pontos no espaço físico (fonte sonora), com os do espaço auditivo (percepção espacial do som).

Para BLAUERT (1999), uma das propriedades da localização é denominada “mancha” de localização, que é compreendida como a menor variação de atributos específicos de um evento sonoro, capaz de provocar alterações na posição do evento auditivo. O autor refere que o espaço auditivo possui menos posições que o espaço onde a fonte sonora, fisicamente, pode se encontrar. E ainda, que esta resolução do sistema auditivo não é uniforme, sendo maior na direção frontal. A mancha de localização no plano horizontal (Figura 1) para o sistema auditivo humano é de aproximadamente 1° , cerca de duas ordens de grandeza maior que a do sistema visual, que é capaz de distinguir mudanças de ângulo menores que um minuto de arco.

Figura 1 – Representação dos planos espaciais



Fonte: Modificado de desenho de BLAUERT (1999), página 14.

2.1.2 Localização sonora espacial dos animais

Os animais desenvolveram, do ponto de vista evolutivo, uma variedade de órgãos sensitivos capazes de perceber estímulos mecânicos. Estes receptores variam desde simples terminais táteis na pele, até estruturas complexas e altamente especializadas. Segundo TRISTÃO (1997), a habilidade em orientar-se pelo som está presente em todos os animais vertebrados de sangue quente, além de varias espécies de peixes, anfíbios, répteis e insetos.

BROWN & MAY (1990) atribuem às antenas dos insetos uma grande variedade de funções, principalmente a tátil, a olfativa e a auditiva. Existem evidências ainda de que os mosquitos, especialmente os machos, possuem

estruturas na base das antenas que provavelmente servem como mecanoreceptores, e que a movimentação independente de cada uma delas funciona como detectores de deslocamento das vibrações mecânicas individuais. Assim, a localização da origem do som dá-se através de um processo de análise vetorial destas ondas, caracterizando um tipo primitivo de audição binaural.

FAY & FENG (1987) observaram, estudando vertebrados não-mamíferos que algumas espécies eram capazes de localizar sons no espaço. Os peixes, por exemplo, localizam as fontes sonoras filtrando o sinal-ruído, baseado nas características direcionais diferentes para cada um dos órgãos receptores, dentro de uma faixa de frequência entre 50 Hz e 1 kHz, para a maioria destes animais. Este limite superior pode chegar a 3 kHz, como no caso do *Ostariophysi* e de outras espécies.

Os pássaros de um modo geral são capazes de localizar fontes sonoras e de responder a estímulos que variam de 100 Hz a 12,8 kHz. Contudo, PARK & DOOLING (1991) não encontraram relação entre a performance desta localização e o tamanho da cabeça destes animais.

BEITEL (1991) estudando as corujas observou que estas eram capazes de localizar muito bem os sons situados no hemisfério espacial anterior, com erros em média de 7°, porém tinham maior dificuldade no hemisfério posterior, com média de erro em torno de 41,1°. Esta rica capacidade em localizar sons permite, por exemplo, que estes animais capturem um rato sem nenhum apoio visual.

GOUREVITCH (1983) encontrou, ao comparar os mamíferos terrestres, que a acuidade em localizar sons não necessariamente era proporcional a diferenças no tamanho da cabeça e que tal localização nos primatas inferiores, possivelmente é um fator importante para a comunicação.

WEVER (2002), descreve que a utilização da localização através de ecos foi estudada em alguns mamíferos marinhos, mas um maior número de pesquisas foi realizado com os morcegos, como as de MÜLLER & SCHNITZLER

(2000) e as de HEFFNER, GIMSEONG & HEFFNER (2001). Os sons produzidos pela laringe dos morcegos são comumente intensos e com altíssimas frequências. As características destes sons variam com as espécies, mas todos os morcegos podem localizar objetos enquanto voam, através desta emissão. Os sons emitidos são refletidos e modificam o espectro original permitindo a estes animais identificar a posição do objeto no espaço.

HEFFNER & HEFFNER (1983) descobriram ao estudar cavalos, mamíferos de grande porte, que estes animais apesar de possuírem limites auditivos que variam de 35 Hz a 35 kHz e localizam melhor fontes sonoras abaixo de 1kHz. Para os autores, a localização de altas frequências por estes animais está intimamente relacionada aos acidentes do pavilhão auditivo externo. De forma semelhante, nos gatos tais acidentes possuem também um importante papel na localização das fontes sonoras, principalmente quando estas fontes encontram-se no plano medial sagital, e na amplificação ou atenuação de determinadas frequências, como revela os estudos de POPULIN & YIN (1998).

Os gatos são capazes de localizar melhor o som no espaço em frequências médias e têm sua audição entre 45 Hz e 64 kHz, como o observado em um outro estudo realizado por MAY & HUANG (1996).

WEVER (2002) afirma estarem os primatas entre os mamíferos mais estudados pelos pesquisadores em todo o mundo, onde preferencialmente foram analisadas espécies como macacos e chimpanzés. Estudos comparativos entre chimpanzés e humanos mostram que os primeiros podem ouvir tons acima da 33.000 Hz e os últimos, quando jovens, ouvem no máximo um pouco acima de 24 kHz, apesar da anatomia entre as espécies ser muito semelhante. Quanto à localização de sons por macacos para tons puros, um estudo realizado por BROWN et al (1978), mostrou acuidade em mudanças espaciais em torno de 22° para 250 Hz, diminuindo à medida que a frequência é aumentada, até aproximadamente 4° para 1 kHz .

Por fim, o processo evolutivo é comumente focado sob duas teorias que são mencionadas por FAY & POPPER (2000), para tentar explicar a sensação auditiva entre os vertebrados. A primeira, mais familiar, tem um enfoque biológico e defende que o sistema auditivo é parte de um sistema de comunicação. A segunda, surge de um recente interesse nos fenômenos envolvendo a análise do panorama auditivo. Esta, consiste na tarefa de discriminação das características das fontes sonoras, no meio ambiente contendo múltiplas frequências e ruídos. Ela ocasiona uma pressão evolutiva natural, formando e mantendo o desenvolvimento auditivo destes vertebrados ao longo de sua escala filogenética. Na Tabela 1 podem ser observadas estruturas e funções do sistema auditivo, em uma perspectiva evolutiva de peixes, anfíbios, répteis, pássaros e mamíferos.

Tabela 1 – Estruturas e funções dos sistema auditivo dos animais

Estrutura / Função	Peixes	Anfíbios	Répteis	Pássaros	Mamíferos
Discriminação de intensidade	S	S	Sd	S	S
Discriminação de frequência	S	S	Sd	S	S
Localização de fonte sonora	S	S	Sd	S	S
Deteção ultra-sônica	S	N	N	N	S
Diferentes tipos de CCE	S	Id	S	S	S
Emissões otoacústicas	Sd	S	S	S	S
Processamento binaural	Id	S	S	S	S

S: Sim, N: Não, Sd: sem dados, Id: indiretamente demonstrado.

Fonte: FAY & POPPER (2000)

2.1.3 Localização sonora espacial humana

MIDDLEBROOKS & GREEN (1991) consideram que a localização de objetos no universo visual é focada pelas informações que os olhos mandam

diretamente para a retina. Entretanto o mapa do espaço visual é encontrado nas estruturas do sistema nervoso central que preserva a topografia intrínseca desta. Já na localização do som, cujos comprimentos de onda possuem uma magnitude seis vezes maior que o das ondas luminosas, um mecanismo análogo ao óptico não seria viável. Assim, a presença dos dois ouvidos, a audição binaural, somada às difrações e reflexões na cabeça, nos ombros e nas orelhas externas, geradas por uma fonte sonora, resultam em mudança de fase e intensidade nas características do estímulo acústico, o que permite ao homem localizar a posição do som em relação à sua cabeça. Todavia, esta acuidade na localização, está condicionada ao plano espacial de onde se origina o som.

O autor defende também que didaticamente as diferenças de fase e intensidade do som entre as orelhas é estudada separadamente. Contudo é pouco provável que na prática, estes dois mecanismos trabalhem isoladamente.

2.1.3.1 Diferença de intensidade interaural

HARTMANN (1999) define o padrão de comparação entre as intensidades do ouvido direito e do ouvido esquerdo como sendo a diferença de intensidade interaural (DII). Este nível é expresso em decibéis e a menor variação detectável é de aproximadamente 0,5 dB. As ondas sonoras que possuem um comprimento maior que o obstáculo, são difratadas. Elas permanecem praticamente com a mesma intensidade na superfície incidente e na superfície por onde passa após o desvio sofrido, a diferença de intensidade sonora entre as orelhas irá aumentar na medida em que tal comprimento for se tornando menor que o objeto. Assim, a localização por DII é melhor quando a onda possui um comprimento menor que o diâmetro da cabeça (17,5 cm em média), cujas frequências são superiores a 2 kHz. Embora este efeito, conhecido como efeito sombra, seja maior para frequências superiores a 4 kHz, onde o

comprimento da onda é aproximadamente duas vezes menor que o diâmetro da cabeça, ou 8,7 cm. Este fato foi comprovado por WITTON, GREEN & HENNING (2000) ao estudarem os efeitos da DII em tons graves.

2.1.3.2 Diferença de tempo interaural

HARTMANN (1999) considera ainda, a diferença de fase de um tom puro equivale à diferença de tempo (Δt) de chegada dos componentes da onda (crista, vale, etc.), em cada orelha. Esta diferença de fase ($\Delta \Phi$) corresponde à diferença de tempo interaural (DTI), que pode ser calculada através da expressão (1) para uma vibração de frequência f .

$$\Delta t = \Delta \Phi / (2\pi f), \quad (1)$$

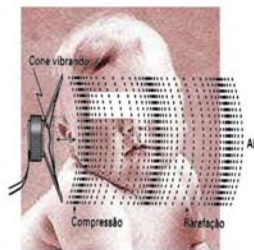
Este valor também pode ser expresso em função do ângulo azimutal θ (orelha direita-esquerda), $\Delta t = 3a.\text{sen}\theta/c$, onde a é o raio da cabeça e c é a velocidade do som. Quando θ aproxima-se de zero, os indivíduos podem detectar diferenças em torno de 1° , o que corresponde a aproximadamente 13 μs de DTI. Esta capacidade binaural de diferenciação de fase só permite que os humanos localizem sons de baixa frequência, ou valores menores que 1,5 kHz. Quando o comprimento da onda sonora aproxima-se ou supera o diâmetro da cabeça, as ondas chegam ao mesmo tempo, em fase, nas duas orelhas.

BLAUERT (1982), ao avaliar os aspectos de diferenças interaurais, assume que a localização sonora humana é dada para sons com frequências acima de 3 kHz pela DII e para sons com frequências abaixo de 1,5 kHz pela DTI (Figura 2). Desta forma, observa-se que existe uma banda de frequências entre 1,5 kHz e 3 kHz, principalmente na faixa de 2 kHz, onde a localização

sonora é pobre porque o comprimento de onda destas frequências aproximam-se do diâmetro da cabeça, o que permite ao som, praticamente, chegar em fase e com mesma intensidade nas duas orelhas. Contudo, como os tons puros não podem ser encontrados na natureza, este problema é mascarado.

Uma outra dificuldade na detecção da origem do som é apontada por OLDFIELD & PARKER (1984). Para os autores, quando a fonte sonora localiza-se no plano sagital-mediano, onde a distância entre a fonte e a orelha esquerda é igual à distância entre a fonte e a orelha direita, o som também chega ao mesmo tempo nas duas orelhas (em fase) e com mesma intensidade.

Figura 2 – Comprimento da onda sonora em relação a distância interaural



Altas frequências: Localização por DII



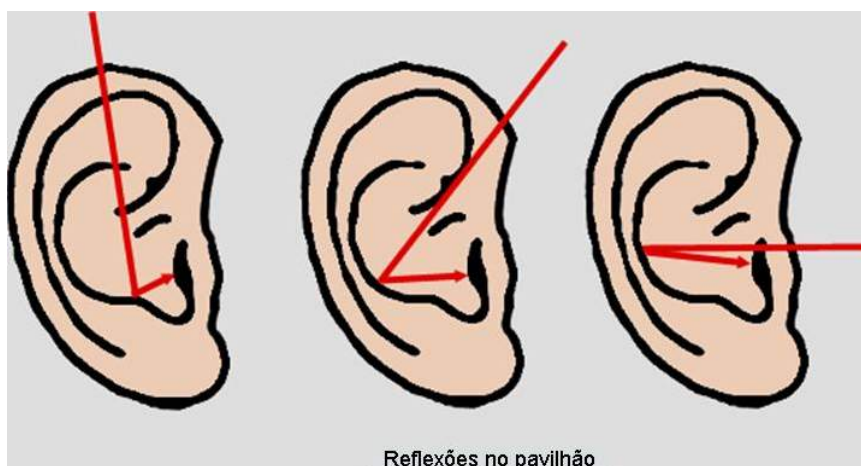
Baixas frequências: Localização por DTI

2.1.3.3 Variações espectrais transferidas anatomicamente

A propagação tridimensional da onda sonora faz com que a mesma seja refletida de forma diferente em estruturas anatômicas do corpo humano, como tronco, ombros, cabeça e orelhas, dependendo da posição da fonte. Tal interação é fator essencial para a localização da origem do som, como afirma MACPHERSON & MIDDLEBROOKS (2002).

Para COELHO (1996), as orelhas funcionam acusticamente como filtros lineares, cuja função de transferência depende da direção e da distância da fonte. Já a cabeça, produz um distúrbio no campo sonoro que tem influência significativa nos sinais que atingem as orelhas e os canais auditivos. As variações espectrais transferidas, relacionadas com a cabeça (VETRC) modificam a pressão sonora entre as orelhas e atingem melhores efeitos para as frequências acima de 4 kHz. As mudanças espectrais são realizadas, para ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSSBERG (2001), principalmente pelos acidentes do pavilhão auditivo, onde destaca-se a concha (Figura 3), que difratam de forma diferente as ondas sonoras para dentro do conduto, e pela presença da cabeça entre as orelhas. Para os autores, estas modificações acontecem principalmente em altas frequências e facilitam a localização no plano sagital-mediano. Porém alguns autores como, BATTEU (1967) e BUTLER (1987) afirmam que as Variações Espectrais Transferidas Anatomicamente (VETA) ajudam também na localização no plano horizontal.

Figura 3 – Modificações do espectro sonoro no pavilhão auditivo



Fonte: <http://evlweb.eecs.uic.edu/sejanus/seminar/s4/graphics.html> (Acesso em: 28 mar 2002)

2.1.4 Movimentos da cabeça

THURLOW, MANGELS & RUNGE (1967) afirmaram que três classes de movimentos de cabeça ajudam na identificação da origem do som. O primeiro, um movimento rotacional, onde a cabeça gira no plano vertical, como se estivesse expressando um “não”. O segundo, uma rotação no plano sagital, para cima e para baixo, expressando um “sim”. E o terceiro, por fim, uma rotação no plano frontal, girando para a esquerda ou para a direita, similar a execução de um “talvez”.

ZARKARAUSKAS & CYNADER (1991), afirmam, também, que o sistema auditivo pode usar aspectos dinâmicos que surgem de mudanças específicas na entrada acústica, quando ocorrem movimentos de cabeça em relação ao som, ou vice-versa.

GOOSSNES & VAN OPSTAL (1999) descobriram que a posição da cabeça está relacionada com a acuidade das respostas de localização espacial. Entretanto, explorando a propriedade do sistema auditivo em perceber a

elevação da fonte sonora, independente das modificações espectrais causadas pelos acidentes do pavilhão auditivo, observaram que na falta da modificações causadas por estes acidentes, a detecção da elevação não é possível, mesmo quando os movimentos de cabeça são realizados. Foi constatado também que os espectros acústicos ricos, como os ruídos de banda larga, são bem localizados, tanto no plano azimutal quanto na elevação. Já para tons puros a localização azimutal é acurada e a elevação não, variando de acordo com as frequências. Notaram ainda, que os movimentos de cabeça podem ser utilizados para melhorar a performance das detecções sonoras, contudo não foi observada diferença na acuidade, entre ouvintes com a cabeça ligeiramente livre e com a cabeça fixa. O estudo conclui também que para frequências, cujos comprimentos de onda são muito maior que o diâmetro, da cabeça as respostas foram semelhantes para as pessoas com cabeça presa e com cabeça livre. Isto evidenciou a dependência relativa da frequência para uma melhora na localização do som, através dos movimentos de cabeça, ocorrendo tanto para tons puros, quanto para complexos.

Um outro aspecto a ser observado seria o movimento da fonte sonora em relação à cabeça do indivíduo. Esta relação foi estudada por CARLILE & BEST (2002). Os autores, ao estudarem o movimento de fontes sonoras partindo de diferentes ângulos azimutais, sugerem que o sistema auditivo é sensível à velocidade. Contudo, as comparações com a velocidade são imensamente beneficiadas se algumas características de deslocamento estiverem presentes, como o efeito Doppler.

2.1.5 Parâmetros adicionais

2.1.5.1 Efeito precedente

O efeito precedente é descrito por LITOVSKY & MACMILLAN (1994), por LITOVSKY & ASHMED (1997) e por LITOVSKY & SHINN-CUNNINGHAM (2001) como o julgamento instantâneo que permite a localização da fonte sonora através da primeira onda que atinge as orelhas. Esta possui informações precisas a respeito da origem exata do som, diferente das ondas subseqüentes, refletidas e refratadas, com informações espaciais mais pobres. Este efeito causa uma ilusão auditiva, e quando dois sons iguais e simultâneos são produzidos por dois alto-falantes, um mais próximo à esquerda e outro mais afastado à direita, o ouvinte irá ter a ilusão que foi produzido um único som vindo da esquerda. No entanto, quando o tempo de chegada entre as duas ondas ultrapassa 5 – 9 ms para cliques, 10 -12 ms para ruídos, 20 ms para a fala e em torno de 40 ms para a música, os ouvintes adultos percebem dois sons distintos.

LITOVSKY (1997), LITOVSKY et al. (1999), e LITOVSKY et al. (2000) concluíram através de diversos estudos, com sons vindos diretamente da fonte sonora e com reflexões simuladas que se atribui ao efeito precedente, entre outros fatores, à relativa habilidade dos ouvintes em localizar sons em espaços reverberantes como dentro de casas, salas de aula e ambientes fechados.

2.1.5.2 Salas reverberantes

HARTMANN (1999), atenta para o fato de que as operações com diferenças de intensidade e de fase interaural têm sido normalmente testadas

com fones de ouvido ou em câmaras anecóicas, onde as ondas sonoras vão direto da fonte para o ouvinte. Contudo, normalmente, todos os dias, os ouvintes encontram-se entre paredes, teto, chão, e inúmeros outros objetos que refletem as ondas sonoras. Assim, é esperado que as reflexões e reverberações piorem a capacidade de localização de fontes sonoras, especialmente as que utilizam a DTI para serem efetuadas. O motivo desta piora na detecção através da DTI é o aumento da possibilidade das ondas chegarem em fase. Já a localização por DII é melhor. Isto porque, as ondas que vão direto da fonte sonora para as orelhas não sofrem a absorção que sofrem as refletidas. Então, as ondas refletidas têm pressão sonora relativamente menor que as diretas. Esta absorção aumenta na medida em que a frequência é aumentada. O que aparentemente resulta em uma gradativa melhora na acuidade, a partir do limite inferior de frequências por DII, em torno de 3 kHz.

Grande parte dos estudos em salas reverberantes restringe-se à observação de campos sonoros difusos, campo acústico de volume (V) onde a densidade de energia sonora é igual em todos os pontos, como é o caso dos trabalhos de NÉLISSE & NICOLAS (1999) e de JACOBSEN & ROISIN (2000). No entanto, nas situações diárias tal perfeição de campo sonoro praticamente não existe.

Outros estudos, porém, baseados em simulações de computadores fazem importantes observações do comportamento sonoro de acordo com a forma da sala. FRANZONI & LABOROZZI (1999) acharam em um destes estudos, que em cavidades retangulares os erros na predição matemática da absorção estão relacionados com os campos sonoros não difusos. Encontraram, ainda, que o aumento no nível de pressão sonora não ocorre apenas nas áreas de limite das salas, mas também, em alguns casos, no seu interior. Estas zonas aparecem quando estímulos são apresentados por uma única fonte sonora de cada vez e os aumentos nos níveis de pressão sonora acontecem em frente a esta fonte e nos planos correspondentes a sua reflexão.

2.1.5.3 Visão e localização do som

A relação entre visão e audição vem sendo estudada levando-se em consideração fatores reflexos, como afirma LUNDY-ERMAN (2000). Para o autor, sons muito intensos ou inesperados são capazes de desencadear movimentos reflexos dos olhos e da cabeça em direção as origens deste som.

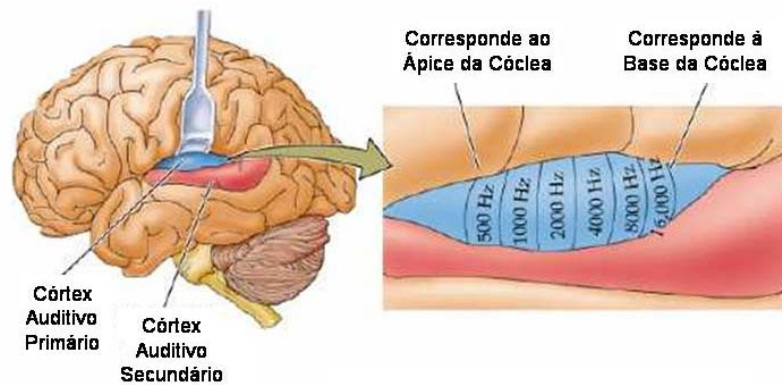
TRISTÃO (1997), revisando este assunto, revela que a localização sonora parece estar relacionada com o tamanho do campo visual dos animais. Assim, quanto maior for este campo, pior a capacidade destes em localizar a fonte. Como pôde ser observado em estudos com cavalos.

A dependência aparente entre a percepção visual e a localização sonora espacial citada acima, foi estudada ainda por LESSARD et al. (1998) e ZWIEERS, VAN OPSTAL & CRUYSBURG (2001), que investigaram a melhora dos sentidos remanescentes em pessoas que haviam perdido a visão precocemente. Os trabalhos demonstraram que a hiper-compensação não ocorreu para a localização de fontes sonoras, mas constatou-se que o sistema auditivo requer a visão para calibrar esta localização, principalmente quando a fonte sonora encontra-se no eixo sagital-mediano. Deste modo, comumente, a privação da visão gera um maior número de erros neste plano.

Em outro nível de relação com a audição observou-se que a visão também contribui para a compreensão da linguagem falada, pois pessoas compreendem melhor a fala se puderem acompanhar os movimentos labiais do indivíduo que está falando. ARONSON & ROSENBLOOM (1971), acrescentam que a separação entre eventos acústicos e visuais é uma tarefa muito difícil para a criança, resultando em um aprendizado mais vagaroso destas informações do que se os dois eventos estiverem associados.

BERNSTEIN et al. (2002) estudando a percepção visual, não encontraram relação direta entre o córtex auditivo primário (Figura 4) e a ativação visual da fala, apesar das regiões circunvizinhas serem ativadas.

Figura 4 – Córtex auditivo



Fonte :http://www.utdallas.edu/~tres/integ/sen5/display9_21.html (Acesso em: 26 jan 2002)

2.1.6 Localização sonora nos diversos planos

MIDDLEBROOKS & GREEN (1991) pesquisaram a localização sonora fazendo uma distinção entre os planos vertical e horizontal justificada principalmente pelas características diferentes dos aspectos espaciais para cada um destes planos. Um terceiro plano, o frontal, é normalmente estudado como parte do horizontal ou do vertical. Os autores consideram ainda que a localização pode ser observada quanto à distância entre a fonte e o ouvinte.

2.1.6.1 Localização sonora no plano horizontal

TRISTÃO (1997), cita a possibilidade de dois mecanismos dedicados à análise das diferenças interaurais e do espectro de ondas sonoras responderem pela localização espacial no plano horizontal.

MIDDLEBROOKS & GREEN (1991), WIGHTMAN & KISTLER (1992) e MIDDLEBROOKS (1992), em estudos anteriores, já defendiam que no plano horizontal, a localização acontece devido às diferenças espectrais e temporais entre as orelhas, conhecidas como diferença de intensidade interaural e diferença de tempo interaural. A dependência espacial da diferença de intensidade (DII), utilizada para detectar sons agudos, varia de acordo com o ângulo horizontal da fonte sonora, sendo melhor na medida em que este ângulo aumenta, até o máximo de 90°, azimute 90°, à direita ou à esquerda da linha média, onde a diferença pode atingir 35 dB em 10 kHz e 20 dB em 4 kHz. O seno do ângulo azimutal é, deste modo, proporcional a DII, independente da elevação da fonte ($\Delta t = 3a \cdot \sin\theta/c$). A diferença temporal interaural (DTI), utilizada para detecção de sons graves, melhora de acordo com a variação azimutal da mesma forma que a DII, e o atraso máximo de fase pode chegar a 700 μ s para uma onda com frequência de 1,4 kHz.

Os estudos de BOEHNKE & PHILLIPS (1999), demonstram que o córtex sensorial auditivo primário de cada hemisfério cerebral é necessário para uma localização acurada de sons no hemi-espço auditivo contralateral. Os estudos mostram, também, em experimentos com macacos, que cada córtex contém uma representação do espaço auditivo contralateral e que mudanças azimutais são provavelmente detectadas por uma sensibilidade neural às disparidades interaurais.

ABEL & HAY (1996) e ABEL et al. (2000), acrescentam que a acuidade de localização neste plano diminui entre 12% e 15% para pessoas idosas quando comparadas com a de adolescentes e adultos, diminuição esta

encontrada tanto para sons graves (500 Hz) e para sons agudos (4 kHz), quanto para ruídos de banda larga. Observou-se ainda que os déficits na localização relacionados com o avanço da idade foram maiores no hemi-espaco direito e que ocorreram também, mais erros em espelho, troca de fontes anteriores por fontes posteriores e vice-versa, em pessoas mais velhas.

2.1.6.2 Localização sonora no plano vertical

No plano vertical a localização sonora não pode ser realizada através das diferenças interaurais, já que de uma posição espacial qualquer para outra com um ângulo de elevação diferente, as características temporais e de intensidade são praticamente as mesmas, principalmente no plano sagital-mediano, onde tais diferenças parecem não existir, como já afirmava MILLS (1972).

MIDDLEBROOKS & GREEN (1991) também afirmam que no plano medial, um estímulo apresentado em qualquer ponto não produzirá diferenças entre as orelhas, então a localização não ocorrerá por DII e nem por DTI. Neste plano, a detecção da origem da fonte sonora se dá devido às mudanças espectrais causadas pelas reflexões e difrações da onda sonora no tronco, nos ombros e nos acidentes do pavilhão auditivo. Estes acidentes ajudam principalmente na diferenciação de sons vindos da frente e de trás. Este tipo de localização mostra-se ainda semelhante para pessoas que possuam audição monoaural (eventualmente) ou binaural. Contudo, principalmente fora do plano sagital-mediano, estudos anteriores de SEARLE et al. (1975) e do próprio autor, MIDDLEBROOKS, MAKOUS & GREEN (1989), mostram que existem diferenças e que estas podem chegar a 10 dBNPS de intensidade entre as orelhas. Revelando a necessidade de um aprofundamento maior nos estudos da localização no plano vertical.

TRISTÃO (1997), refere que a localização neste plano é melhor na medida em que se aumenta a frequência, diminuindo-se o comprimento de onda para dimensões inferiores às circunvoluções da orelha, para que o ouvido externo filtre realmente o sinal, dependendo do ângulo de elevação.

2.1.6.2.1 Plano sagital-mediano

Um grande número de estudos tem demonstrado que os humanos podem localizar consideravelmente bem mudanças espaciais de fontes sonoras no plano sagital-mediano, onde, como se sabe, as diferenças interaurais tendem a ser nulas. Estudos realizados por JONGKEES & GROEN (1946), BUTLER (1969), GARDNER (1973) OLDFIELD & PARKER (1984), entre outros, confirmam este fato, apesar das diferenças espectrais causadas pelas funções transferidas anatomicamente aparentemente prevalecerem sobre as diferenças interaurais, principalmente para frequências acima de 5 kHz. Alguns estudos como os de RAKERD, HARTMANN & MCCASKEY. (1999), concluem que tons puros dificilmente são localizados neste plano e apenas os filtros gerados pelas VETA não são suficientes para uma localização sonora precisa na elevação. Outros mostram que neste plano as duas orelhas contribuem para a percepção das mudanças do ângulo vertical, como os de MORIMOTO (2001).

FERGUSON, HANSHTRUDI & JONHSON (1992) e RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998) mostraram ainda, que pessoas com idade avançada, principalmente quando apresentavam presbiacusia, tiveram maior grau de dificuldade em localizar os sons em diferentes elevações no plano sagital medial.

2.1.7 Localização sonora à distância

Para MOORE & KING (1999), a terceira dimensão da localização de fontes de som, à distância, tem sido negligenciada pelos pesquisadores, a não ser por alguns poucos estudos iniciados pelo pioneiro Georg von Békésy e que foram, em sua maioria, desenvolvidos em câmaras anecóicas.

TRISTÃO (1997) descreve, baseada no pouco de conhecimento existente sobre o assunto, que a principal pista para a localização sonora à distância é a degradação dos sons no meio ambiente. Assim, a partir do instante em que é produzido, o som é degradado por obstáculos e pelas propriedades inerentes à propagação sonora, sofrendo modificações qualitativas. Desta forma, conteúdos espectrais e temporais dos sinais se modificam em função da distância de propagação e da dispersão. A autora, afirma também, que dois fatores podem agir diretamente, dificultando este tipo de localização. O primeiro é a reverberação, dependente da frequência, que pode fazer com que haja interferência entre as ondas sonoras, aumentando ou diminuindo a intensidade do som. E o segundo é a interferência de ruídos do ambiente, que pode mascarar o som. Tal interferência, aparentemente, é maior em baixas frequências, na localização por DTI, do que nas altas frequências, na localização por DII, como mostra LORENZI, GATEHOUSE & LEVER (1999) em um dos seus estudos.

MIDDLEBROOKS & GREEN (1991), referem que em campo livre ou em câmaras anecóicas, a intensidade do som varia inversamente com o quadrado da distância. Assim, ocorrerá uma diminuição de 6 dB NIS, ou 6 dB NPS, cada vez que esta distância for dobrada. Acrescentam ainda que os movimentos de cabeça não ajudam no julgamento desta dimensão de localização e que uma atenção especial deve ser dada às salas reverberantes. Nestes lugares, a diminuição da intensidade do som não segue a mesma Lei observada nos dois ambientes descritos acima.

Por fim, BRUNGART, DURLACH & RABINOWITZ (1999) examinado a localização auditiva de fontes sonoras relativamente distantes, observaram que a 1 metro da cabeça dos ouvintes, a diferença de intensidade interaural aumenta radicalmente com a aproximação da fonte em relação à cabeça, enquanto a diferença interaural de fase é aproximadamente independente da distância. Os autores sugerem que as VETA para fontes sonoras próximas são importantes na percepção da distância auditiva e que a magnitude dos erros de localização à distância tendem a aumentar na medida em que a fonte sonora afasta-se do ouvinte. Estes erros de distância são maiores próximos ao plano mediano e em ângulos de elevação acima de 20° e são menores com a lateralização da fonte sonora.

2.1.8 Localização de ruídos

RAKERD, HARTMANN & MCCASKEY (1999), sugerem que os tons puros são de difícil localização, principalmente no plano sagital-mediano, acreditando, assim, que quanto mais rico for o som mais fácil é a sua localização. Tons puros, entretanto, não existem na natureza, sendo produzidos exclusivamente pelo homem, o que reduz tal dificuldade.

Já os sons complexos têm sua origem melhor detectada como mostram alguns estudos, como os de PERROTT & BUELL (1982) e BRUNGART, DURLACH & RABINOWITZ (1999), com ruídos de banda larga, o de MIDDLEBROOKS (1992), com ruídos de banda estreita, possíveis de serem encontrados na natureza e o de SCHAIK, JIN & CARLIE (1999), com ruídos filtrados. Contudo, especialmente os ruídos de banda estreita, geram trocas na localização entre sons originados na frente e sons originados atrás, no plano horizontal, os chamados erros em espelho.

2.2 Mecanismos de localização sonora do tronco-cerebral

Para TRISTÃO (1997) existem diversas linhas de pesquisa que tentam explicar os mecanismos do tronco-cerebral na localização da origem do som. Para ela alguns autores associam o complexo olivar superior, formado pela oliva superior lateral e pela oliva superior medial, à localização no plano horizontal. Lesões nesta área produzem, realmente, déficits na localização azimutal. Estudos mais recentes, sugerem que esta estrutura e o colículo inferior comporiam a região primária de interação binaural. Já outros estudos afirmam que, do ponto de vista funcional, este complexo serviria como um quiasma acústico em analogia ao quiasma óptico.

O quiasma óptico, segundo MACHADO (1993) permite a constituição do campo visual binocular, a superposição de parte dos campos visuais dos dois olhos.

2.3 Cognição auditiva

COELHO (1996) observa que é necessário saber como o cérebro processa as informações que chegam a ele. Pois, diferentemente do ouvido, o cérebro não é capaz de concentrar-se em mais de um evento auditivo ao mesmo tempo, sendo este selecionado dependendo de sua importância em um conjunto restrito de sons que o envolvem.

Diversas teorias tentam explicar esta atenção auditiva, entre elas a de Broadbent, citada por WOODS et al. (2001), que serve como base para a maioria dos modelos de atenção seletiva. Nesta teoria, a informação auditiva

passa por diversos canais sensoriais que possuem alguma representação neural distinta no cérebro. Estes canais conduzem a um sistema de memória de curta duração, onde ocorrem filtragens e apenas um deles permite que a informação chegue à memória de longa duração. Estes postulados foram estudados em festas com ruídos de fundo, onde as pessoas necessitavam filtrar as conversas paralelas para se concentrarem em apenas uma conversação.

Um outro autor, Treisman, segundo EYSENCK & KEANE (2000), modificando a teoria de Broadbent propõe que a informação passe direto para um filtro analisador sensível às características do som. Assim, grande parte dos canais sonoros seria eliminada e um conjunto de subfiltros, denominados unidades dicionário, analisariam os padrões de sinais sonoros e estímulos seriam disparados para o mecanismo de resposta cerebral.

Por fim, a teoria de Deutsch e Deutsch, altera a teoria anterior, omitindo o filtro inicial de características física, como afirma COELHO (1996). Na rede de unidades dicionário, cada sinal seria analisado individualmente e reconhecido por sua importância, realizando respostas proporcionais à importância destas informações. Deste modo, seria possível, por exemplo, um indivíduo detectar seu nome em um ambiente com competição sonora, pois este estímulo produz uma resposta mais forte.

CAPÍTULO 3

Métodos

O protocolo desta pesquisa nº 020/2002-CEP/CCS está baseado na legislação pertinente, Resoluções Nº 196/96 e 251/97, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde, para estudos com seres humanos e foi, antes de ser iniciado, submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco, que o aprovou em 03 de maio de 2002.

3.1 Local

Os exames foram realizados no Laboratório de Engenharia Biomédica do Departamento de Biofísica e Radiobiologia da Universidade Federal de Pernambuco, em Recife.

3.2 Amostra

3.2.1 Critérios de inclusão

Limiares auditivos iguais ou inferiores a 15 dBNA (ANSI -1969), com diferenças entre as orelhas por frequência iguais ou inferiores a 10 dB; timpanogramas tipo A, com pico em 0 daPa; reflexos estapedianos presentes;

teste de triagem de processamento auditivo central normal; idade entre 18 e 50 anos.

3.2.2 Critérios de exclusão

Exposição a ruído ocupacional ou de lazer, cirurgias no ouvido, mais de três infecções de ouvido no ano corrente, uso de medicação ototóxica, casos hereditários de surdez e experiência anterior com testes de localização sonora espacial.

3.2.3 Amostragem

Os participantes foram voluntários que compareceram espontaneamente, sem nenhuma forma de auxílio monetário, ao departamento de Biofísica da UFPE, após divulgação da pesquisa em quatro instituições de ensino superior do grande Recife, FIR, FUNESO, UNICAP e UFPE, com os respectivos professores, alunos, funcionários e profissionais afins.

3.2.4 Consentimento livre e esclarecido

A pesquisa foi explicada verbalmente e um termo de consentimento livre e esclarecido foi entregue (Anexo III) antes do início do experimento. O anonimato dos participantes foi garantido e os mesmos estavam livres para,

mesmo tendo assinado o documento, a qualquer instante, retirar o seu consentimento e deixar de participar do estudo em andamento.

3.4 Procedimentos

3.4.1 Grupos estudados

Foram realizados testes iniciais com um grupo piloto, para que os procedimentos de análise fossem adequados ao estudo realizado. Posteriormente a pesquisa prosseguiu com o grupo teste.

3.4.1.1 Grupo piloto

Formado por oito voluntários, sendo quatro homens e quatro mulheres, com faixa etária dentro dos critérios estabelecidos.

3.4.1.2 Grupo teste

Formado por setenta e quatro voluntários, sendo trinta e sete homens e trinta e sete mulheres.

3.4.2 Coleta de dados

Inicialmente foi aplicado um questionário (Anexo IV) para a triagem dos participantes. Em seguida o protocolo de pesquisa foi explicado oralmente e foi então obtido o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo III). Os seguintes procedimentos foram utilizados em cada ensaio:

3.4.2.1 Medições anatômicas

As medições da distância entre as orelhas, da maior dimensão vertical e horizontal do pavilhão, da profundidade da concha, da maior dimensão horizontal e da maior dimensão entre a parte mais inferior da cavidade da concha com a mais superior da cimba da concha, foram realizadas com a utilização de paquímetros (Anexo V). Em seguida os valores foram anotados em formulários específicos (Anexo VI).

3.4.2.2 Otoscopia

Para a inspeção do meato acústico externo e da integridade da membrana timpânica, utilizou-se um otoscópio da marca Welch Allyn 29090 (Anexo VII), com espéculos esterilizados.

3.4.2.3 Audiometria tonal liminar

A audiometria tonal liminar, com tom puro pulsátil, foi realizada em cabine acústica. Os limiares foram pesquisados por meio da técnica descendente, com intervalos de 10 dB e a confirmação das respostas pela técnica ascendente, com intervalos de 5 dB. Foram avaliadas as seguintes frequências: 500 Hz, 1 kHz; 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz e 8 kHz. Utilizou-se o audiômetro da marca Madsen, modelo Midimate 622 (Anexo VII), calibrado segundo padrões da ANSI – 69. A cabine acústica seguiu as recomendações da ANSI 3.1 – 1991.

3.4.2.4 Imitanciometria

A imitanciometria foi realizada com o aparelho da marca Interacoustics modelo AZ7 (Anexo VII), procedendo-se inicialmente à timpanometria e em seguida à pesquisa dos reflexos estapedianos.

3.4.2.5 Teste de triagem do processamento auditivo central

Para a triagem do processamento auditivo central, foram utilizados os procedimentos referidos por CRUZ & PEREIRA (1996) em seus estudos. Assim, foram realizadas as seguintes provas: para a localização sonora utilizou-se um sino estimulado em cinco direções em relação ao pavilhão auricular (acima, atrás, à frente, à esquerda e à direita), na prova de memória seqüencial não verbal, foram utilizados: agogô, apito, chaves e sino, onde o participante deveria indicar a ordem em que os instrumentos foram executados nas três seqüências

apresentadas, e para a prova de seqüência verbal, três sílabas eram apresentadas, PA, TA, CA, em ordem aleatória e o participante tinha que repetir.

Os voluntários deveriam acertar todas as provas para que fossem considerados como aptos para continuar o experimento.

3.4.6 Teste de localização da fonte sonora

3.4.6.1 Aparelhagem

3.4.6.1.1 Equipamento

O equipamento utilizado para testar a localização sonora espacial dos participantes foi concebido e desenvolvido no Departamento de Biofísica e Radiobiologia da UFPE, inspirado em alguns modelos já existentes, como os de BLAUERT (1969/70), GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999), ABEL et al. (2000) e ZWIEERS, VAN OPSTAL & CRUYSBERG (2001). Consiste de uma estrutura circular horizontal de barras de alumínio de 2 x 0,5 cm, com 1 metro de raio e oito alto-falantes fixados a 45° entre cada um deles, e mais dois semicírculos perpendiculares de mesmo raio, defasados em 90°. Tendo estes semicírculos um alto-falante central e mais quatro, um de cada lado a 45° de elevação, totalizando treze fontes sonoras (Figura 5). O aparelho formado pelo conjunto de estrutura metálica, alto-falantes, cabos e consoles foi denominado Analisador de Percepção Sonora Espacial (APSE), cuja patente será requerida ao INPI.

Figura 5 – Alto-falantes do aparelho

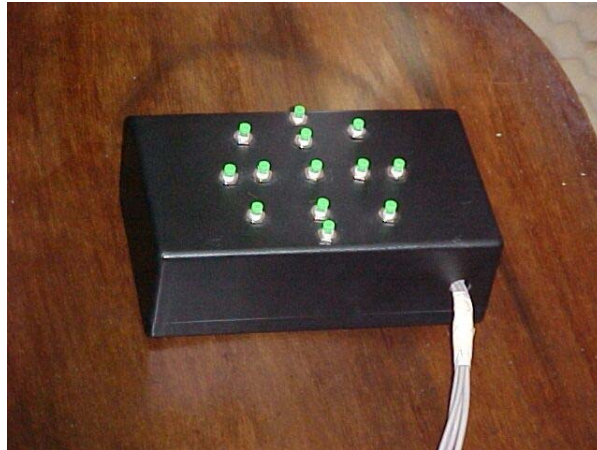


As pessoas testadas (Figura 6) deveriam indicar em um controle C1 (Figura 7) ou console auxiliar, que possui botões com a representação espacial dos alto-falantes, a origem da fonte sonora de acordo com a seqüência apresentada pelo pesquisador.

Figura 6 – Voluntário sendo testado



Figura 7 – Controle C1 – Utilizado para indicar a origem da fonte sonora



3.4.6.1.2 Geração do estímulo

Para gerar os estímulos sonoros, foi concebido e construído um gerador de onda quadrada no Laboratório de Engenharia Biomédica do DBR (Anexo VIII), capaz de gerar ondas com frequência de 500 Hz a 4,5 kHz. Foi ainda construído um circuito que amplifica os sinais e os distribui nos diversos alto-falantes. Estes são acionados a partir de um controle de comando C2 (Figura 8), que possui treze botões de interruptores “push-buttons”, representando espacialmente estes alto-falantes. Acima de cada interruptor existe um LED de luz vermelha, que acende de acordo com as respostas dos participantes.

Figura 8 – Controle C2 – Utilizado para a estimulação e obtenção de respostas



3.4.6.1.3 Estímulos

Foram utilizadas ondas quadradas com freqüências fundamentais, 1 kHz, 2 kHz e 3 kHz (Anexo IX e X). Para o grupo teste, foram apresentados três estímulos em cada uma das treze posições nas três freqüências utilizadas, totalizando 117 estímulos para cada voluntário. No grupo piloto, foram efetuados vinte estímulos em cada uma das treze posições, também nas três freqüências, com um total de 780 estímulos por pessoa analisada.

A intensidade foi fixada em 70 dBA, medida no centro da estrutura metálica do APSE por um decibelímetro da marca Minipa, modelo MSL – 1351C e o sinal dos alto-falantes foi calibrado com um osciloscópio Hewlett Packard 54600B e com o freqüencímetro do Multímetro Extech 383273 (Anexo XI). O som produzido foi registrado pelo software SOUND FORGE para que os harmônicos fossem analisados (Anexo XII). Os estímulos aplicados tinham duração de um segundo e o tempo máximo de resposta esperado foi de quatro

segundos, além do qual tal resposta era considerada nula. Os tempos foram marcados com um cronômetro Casio.

Em cada teste, foi usada uma frequência por vez, escolhida antecipadamente de forma aleatória. A ordem de estimulação dos alto-falantes – 39 estímulos por frequência – fez-se com a ajuda do Software RANDOM NUMBER GENERATOR (1997) e foi diferente para cada participante. Para o registro das respostas foram utilizados formulários impressos com a ordem dos estímulos (Anexo XIII), impressa pelo programa citado acima. O teste piloto utilizou a mesma metodologia, porém foi realizado usando-se 260 estímulos por frequência.

3.4.6.2 Sala

O teste de localização sonora foi realizado em uma sala reverberante 3X3X3 metros, com o piso de madeira e as paredes revestidas de madeira até 1,7 m de altura, que foram recobertas por um material absorvente. O teto é de gesso e sem revestimento (Anexo XIV). A sala possuía níveis ambientais de ruídos aproximadamente iguais a 41dBA, sendo completamente iluminada e com temperatura em torno de 24,8 °. Estas condições geravam uma velocidade de propagação sonora aproximada de 345,5 m/s, resultando nos seguintes comprimentos de onda 34,5 cm, 17,2 cm e 11,5 cm para 1, 2 e 3KHz, respectivamente.

3.4.6.3 Parâmetros adicionais

Os participantes foram instruídos a permanecerem de olhos abertos, focalizando um ponto na parede diretamente a frente e mantendo a cabeça imóvel durante a estimulação. Contudo, era permitido a estes que após o estímulo olhassem em direção ao controle C1 para que a resposta fosse dada. Durante o experimento, os voluntários não receberam qualquer tipo de *feedback* sobre os resultados.

3.4.6.3.1 Treinamento

Antes do início de cada experimento, os participantes foram treinados para aprenderem a responder corretamente aos estímulos recebidos durante aproximadamente 20 minutos nas frequências utilizadas, até que estivessem adaptados ao sistema de respostas.

3.5 Análise estatística

Foram aplicadas técnicas de estatística descritiva, incluindo tabelas e gráficos ilustrativos. Utilizou-se o teste estatístico qui-quadrado para verificar a existência de diferenças entre as idades do sexo masculino e do sexo feminino. O teste de médias emparelhadas, t de Student, foi aplicado para detectar as diferenças nas estruturas anatômicas entre os sexos e entre as orelhas de um mesmo indivíduo, e também para analisar as respostas nos diversos planos e frequências entre os sexos. O teste de análise de variâncias, ANOVA, foi

utilizado para verificar a igualdade das respostas entre os planos e entre as frequências, seguido do teste de Tukey, para a comparação entre os pares. Por fim, lançou-se mão do teste de correlação bivariada, onde foi avaliado o grau de relacionamento linear através do coeficiente de Pearson, para que fossem observadas as relações dos acertos com a idade e com as estruturas anatômicas. O *software* utilizado para a obtenção dos cálculos foi o *SPSS*, na versão 10.0 em microcomputador PC K6II 500 MHz.

CAPÍTULO 4

Resultados

4.1 Características da amostra

As idades dos voluntários foram comparadas de acordo com o sexo, como citado anteriormente, através do teste qui-quadrado. Contudo não se encontrou diferença significativa em nível de 0,05, o que descartou a possibilidade de descrição da idade com diferenciação entre os sexos. Em toda a amostra estudada (N=74), a idade variou de 19 a 50 anos, com valor médio de 30,8 anos, mediana de 29 anos, e desvio padrão de 8,1. Já as estruturas anatômicas tiveram os seguintes valores médios em centímetros: 15,8 para a distância entre as orelhas; 6,1 e 2,8 para o comprimento e a largura do pavilhão, respectivamente; 2,6 , 1,7 e 1,2 para o comprimento, a largura e a profundidade da concha, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos tamanhos das estruturas anatômicas

	<i>Média</i>	<i>D.P.</i>	<i>P10</i>	<i>P90</i>
Distância Interaural	16,8	0,8	14,8	17
Comprimento – Pavilhão	6,1	0,5	5,5	6,9
Largura – Pavilhão	2,8	0,4	2,3	3,4
Comprimento – Concha	2,6	0,3	2,3	3
Largura – Concha	1,7	0,2	1,4	2
Profundidade – Concha	1,2	0,2	1	1,5

Obs. Dados em centímetros

Através do teste *t* de Student, foram comparados os tamanhos das estruturas anatômicas entre os sexos e o das orelhas em um mesmo indivíduo. Foi encontrada diferença significativa apenas para a distância interaural, onde o valor de *p* foi menor que 1% ($p < 0,01$) e para o comprimento da concha, onde *p* foi igual 1% ($p = 0,01$). Este achado autoriza a descrição do grupo como homogêneo, com ressalva para estas duas diferenças anatômicas. Também não foram encontradas diferenças significativas entre as dimensões das estruturas da orelha esquerda com a da orelha direita.

Na Tabela 3 pode ser observada que a média das distâncias entre as orelhas e do comprimento da concha foi menor para o sexo feminino, 15,4 cm e 2,5 cm, e maior para o masculino, 16,2 cm e 2,7 cm, respectivamente.

Tabela 3 – Medidas da distâncias interaurais distribuídas por gênero

<i>Estrutura / Sexo</i>	<i>Média</i>	<i>D.P.</i>	<i>P10</i>	<i>P90</i>
DI – Feminino	15,4	0,7	14,6	17
DI – Masculino	16,2	0,6	15,5	17,1
CC – Feminino	2,5	0,3	2,3	3
CC – Masculino	2,7	0,3	2,4	3,2

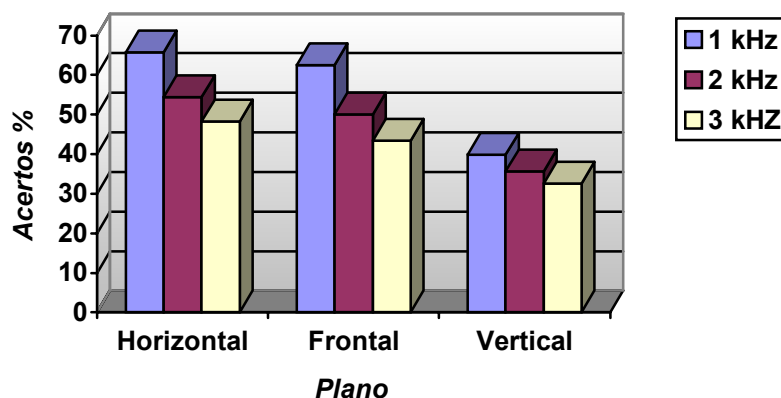
Obs. DI= distância interaural, CC= comprimento da concha. (N=74)

4.2 Acertos na localização sonora espacial

4.2.1 Comparação entre os planos

Os acertos obtidos na amostra testada podem ser observados na Figura 9, onde observa-se um percentual de acertos melhor no plano horizontal, seguido pelo frontal (transverso) e por último o vertical (sagital-mediano).

Figura 9 – Comparação do percentual de acerto entre os planos



Através do teste ANOVA, seguido de uma comparação entre os pares de médias pelo teste de Tukey, observou-se que o percentual de acertos na localização sonora foi maior no plano horizontal, do que nos outros dois, exceto em 2 kHz e em 3 kHz, onde foi o mesmo para o plano horizontal e para o frontal. Ainda utilizando os testes descritos acima, constatou-se que o percentual de acertos na localização sonora foi menor para o plano vertical, do que para o horizontal e o frontal, em todas as frequências.

4.2.1.1 Diferenças entre os sexos

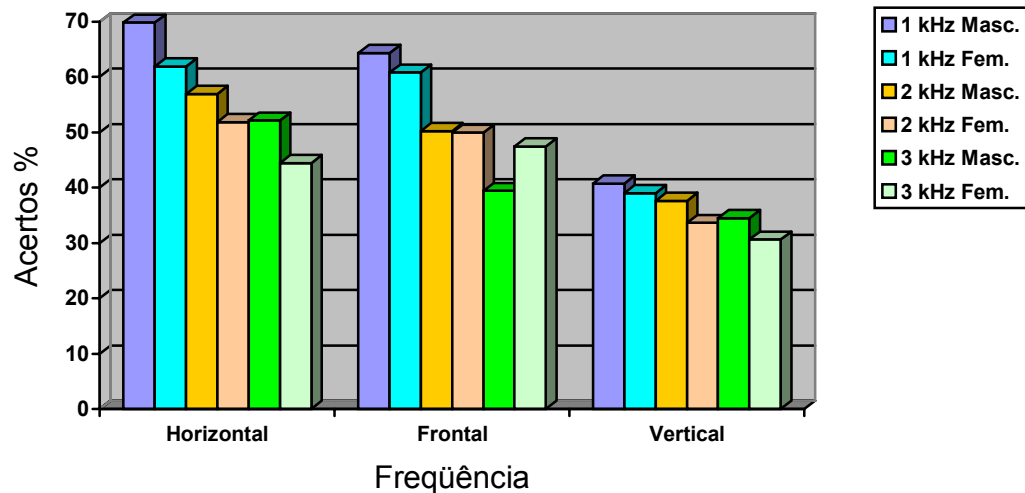
Inicialmente foram comparados os percentuais de acertos entre os sexos, também através do teste t de Student, como pode ser observado na Tabela 4. Não foi encontrada diferença significativa, exceto a 1kHz no plano horizontal, onde o valor de p foi igual a 0,045, revelando uma chance de 4,5% de que as diferenças observadas sejam devidas à variabilidade das amostras. Uma atenção deve ser dada ainda, à frequência de 3 kHz, também no plano horizontal, com p igual a 0,057, o que não foi significativo, mas mostrou uma forte tendência.

Tabela 4 – Comparação entre os sexos, Teste t de Student

Plano / Frequência	Valor de p
Horizontal 1 kHz	0,045
Horizontal 2 kHz	0,216
Horizontal 3 kHz	0,057
Frontal 1 kHz	0,423
Frontal 2 kHz	0,957
Frontal 3 kHz	0,064
Vertical 1 kHz	0,674
Vertical 2 kHz	0,295
Vertical 3 kHz	0,289

Os dados foram divididos por sexos, Figura 10, onde se pode constatar que as respostas do sexo masculino foram melhores que as do sexo feminino, principalmente no plano horizontal, nos outros planos não houve diferenças significativas.

Figura 10 – Percentual de acertos no plano horizontal, distribuídos por gênero



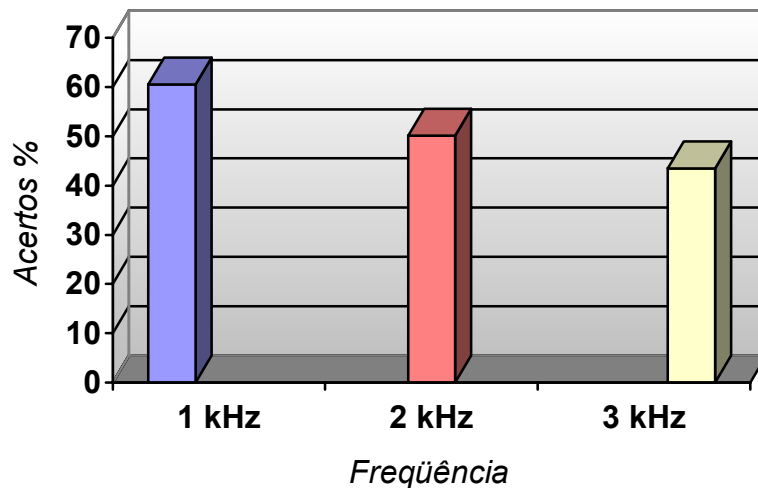
Comparando os dados novamente, através do teste ANOVA com o teste de Tukey, percebeu-se que as repostas para o sexo feminino permaneceram iguais em todo o grupo. No sexo masculino, as repostas em todas as freqüências no plano horizontal foram semelhantes às do plano frontal, sendo melhores que as do plano vertical.

4.2.2 Comparação entre as freqüências sonoras

Na avaliação do total de acertos por freqüência vista na Figura 11, observa-se que estes diminuem cerca de dez por cento a cada aumento de 1 kHz. Porém quando foram analisadas as médias dos acertos totais dos voluntários, observou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os acertos das diferentes freqüências, com valores de p menores que 0,01. Isto

confirma o fato de que os acertos diminuem quando a frequência é aumentada, na faixa de 1 kHz até 3 kHz.

Figura 11 – Percentual de acertos nos três planos por frequência sonora



4.2.3 Relação entre acertos e idade

Para observar a relação entre a variação da idade e a dos acertos, aplicou-se o teste de correlação bivariada, sendo o grau de relacionamento linear medido através do coeficiente de Pearson. Para o total de acertos, encontrou-se uma correlação significativa, com valores de p menores que 0,05 e com valores negativos de r , sendo -0,26, para 1 kHz, -0,35 para 2 kHz, e -0,41 para 3 kHz.

4.2.4 Relação entre os acertos e as estruturas anatômicas

As relações entre o tamanho das estruturas anatômicas mensuradas e a variação dos percentuais de acertos na localização sonora também foram avaliadas através do teste de correlação bivariada. Da mesma forma, o grau de relacionamento linear foi medido através do coeficiente de Pearson. Na Tabela 5, estão relacionados todos os valores de r e de p encontrados naquela correlação. Entretanto, a correlação foi significativa entre o comprimento da concha e os acertos no plano horizontal em 1 kHz e 2 kHz, no plano frontal também em 1 kHz e 2 kHz, e entre o comprimento do pavilhão e os acertos em 3 kHz no plano vertical. Todas as correlações significativas tiveram valores positivos de r , o que significa que quanto maior a estrutura maior o percentual de acertos.

Tabela 5 – Correlação entre os acertos e os tamanhos anatômicos mensurados, através dos valores de r e de p (as correlações estatisticamente significativas estão em negrito) .

Estrutura mensurada	DI		CP		LP		CC		LC		PC	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Plano / Freqüência												
Horizontal 1kHz	-0,16	0,15	0,84	0,47	0,02	0,83	0,331	0,00	0,21	0,07	-0,97	0,41
Horizontal 2 kHz	-0,15	0,19	0,08	0,48	-0,15	0,19	2,97	0,01	0,09	0,43	-0,00	0,97
Horizontal 3 kHz	-0,13	0,25	0,14	0,21	-0,07	0,54	0,22	0,51	0,08	0,48	0,07	0,53
Frontal 1 kHz	-0,04	0,71	-0,03	0,77	0,025	0,83	0,30	0,00	0,11	0,33	0,18	0,12
Frontal 2 kHz	-0,16	0,15	-0,09	0,43	-0,15	0,90	0,281	0,01	0,06	0,57	0,05	0,64
Frontal 3 kHz	-0,19	0,09	-0,16	0,17	-0,16	0,15	0,00	0,93	-0,08	0,48	0,04	0,67
Vertical 1 kHz	-0,12	0,30	0,05	0,64	-0,07	0,54	0,20	0,07	0,18	0,11	0,08	0,47
Vertical 2 kHz	-0,09	0,42	0,08	0,47	-0,14	0,21	-0,14	0,21	0,15	0,18	0,00	0,96
Vertical 3 kHz	0,07	0,51	0,265	0,02	-0,13	0,26	0,21	0,06	0,12	0,28	-0,09	0,40

DI= distância interaural, CP= comprimento do pavilhão, LP= Largura do pavilhão, CC= Comprimento da concha, LC= Largura da concha e PC= profundidade da concha.

4.2.4.1 Gênero

Quando observada separadamente, por sexo, as correlações apresentaram valores de significativos de r e p , para o grupo masculino, entre o comprimento da concha e os acertos no plano horizontal: $r = 0,34$ e $p = 0,03$ para 1 kHz ; $r = 0,32$ e $p = 0,04$ para 2 kHz. A mesma relação foi testada para o grupo feminino que não obteve correlação estatisticamente significativa. Nas outras estruturas não se encontrou correlação relevante.

CAPÍTULO 5

Discussão

5.1 Discussão do método

Desde o seu projeto inicial, este trabalho já tinha a intenção de realizar um estudo em ambiente reverberante, pois na maioria das situações cotidianas as pessoas estão em salas reverberantes, como escritórios, quartos, banheiros, etc. A busca pelo entendimento do processo de localização sonora humana teria, desta forma, que passar pela observação do aspecto reverberação. Um outro motivo foi a falta de experimentos que considerem este fator, como frisou HARTMANN (1999). Motivos pelos quais responde, ainda, a escolha pela iluminação completa da sala.

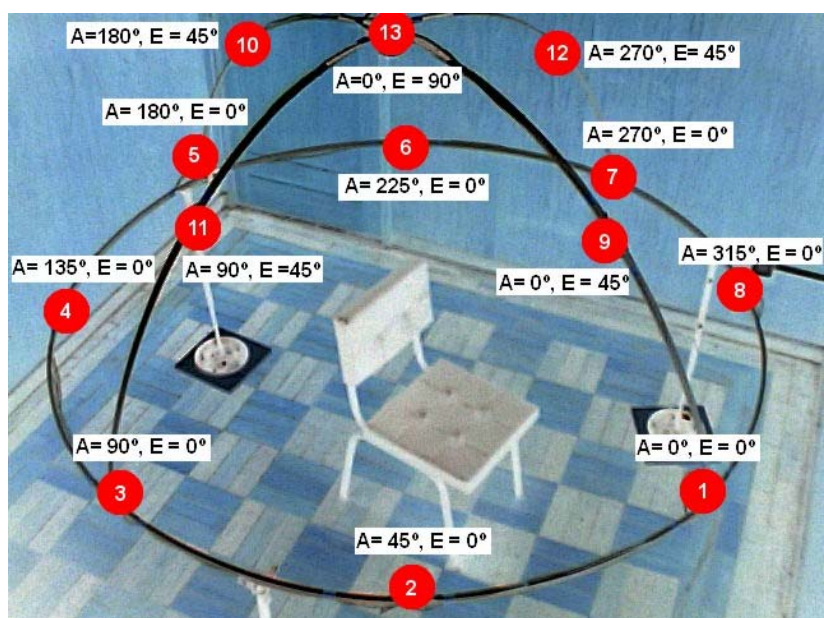
Os experimentos que testam a localização sonora espacial, de um modo geral, podem ser divididos em dois grandes grupos. O primeiro grupo, que utiliza alto-falantes dispostos, na maioria das vezes, ao redor dos voluntários e outro grupo que utiliza fones de ouvido com uma tecnologia que simula as VETA e cria virtualmente as fontes sonoras ao redor da pessoa que será testada. Assim aparecem no primeiro grupo, estudos como os de OLDFIELD & PARKER (1984), MIDDLEBROOKS (1992), RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998), BRUNGARDT, DURLACH & RABINOWITZ (1999), GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999), SCHAIK, JIN & CARLIE (1999), ABEL, et al. (2000) e MORIMOTO (2001). No segundo grupo, os trabalhos de WIGHTMAN & KISTLER (1992), JIN et al. (2000), LANGENDIJK (2001) e CARLILE & BEST (2002), entre outros. A vantagem da escolha de alto-falantes ao invés de fones de ouvido deve-se ao fato de que os últimos não são recomendados quando se

tem o objetivo de testar a localização sonora em ambientes reverberantes. É sabido que os processos de calibração das reflexões com esta tecnologia virtual são muito trabalhosos e demorados. A opção por fones de ouvido tornaria, ainda, o trabalho mais oneroso. Contudo, deve-se lembrar que as fontes sonoras criadas virtualmente possibilitam a simulação de testes em campo livre de maneira prática e rápida, pois não necessita que o experimento seja realizado em uma câmara anecóica.

Os planos espaciais adotados configuram um fator que merece atenção. São observados, neste aspecto, basicamente três tipos de estudos. Existem os que testam a localização no plano horizontal, como os trabalhos de BLAUERT (1982), MIDDLEBROOKS, MAKOUS & GREEN (1989), MIDDLEBROOKS & GREEN (1992) e ABEL et al. (2000). Também os que observam as respostas no plano vertical sagital-mediano, como os de BLAUERT (1969/70), GARDNER (1973), RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998), RAKERD, HARTMANN & MCCASKEY (1999) e MORIMOTO (2001). Enfim, os que testam os dois planos simultaneamente, como os de OLDFIELD & PARKER (1984), PERROTT & SABERI (1990), MIDDLEBROOKS & GREEN (1991), BRUNGARDT, DURLACH & RABINOWITZ (1999), SCHAIK, JIN & CARLIE (1999) e ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSBERG (2001).

A opção pelo estudo dos planos horizontal e vertical sagital-mediano, foi impulsionada pela possibilidade de se comparar respostas onde a localização sonora é possível, principalmente através das diferenças interaurais, aplicável a quase todas as posições horizontais, exceto aquelas que estão no azimute 0° e no azimute 180° . Estas fornecem respostas onde tais diferenças praticamente não têm efeito no plano vertical sagital-mediano. No plano frontal medial, pode-se comparar, ainda, a ação máxima destas diferenças nos azimutes 90° e 270° , em contraposição a uma ação menor nos mesmos azimutes, com elevações de 45° , e uma quase ausência de ação no azimute 0° e elevação 90° , como visto na Figura 12.

Figura 12 – Azimute (A) e Elevação (E) dos treze alto-falantes



O número de fontes sonoras, reais ou virtuais, utilizadas para testar a capacidade dos humanos em localizar a origem do som, varia bastante entre os autores consultados. OLDFIELD & PARKER (1984), por exemplo, utilizou trezentos e vinte e quatro possíveis origens sonoras em seu experimento, MIDDLEBROOKS & GREEN (1991), tinha sessenta alto-falantes. RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998) realizaram suas pesquisas com três configurações diferentes que possuíam três alto-falantes cada, já GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999) usaram vinte e quatro fontes sonoras. ABEL et al. (2000) usaram oito, divididos em dois grupos de quatro alto-falantes. JIN et al. (2000) criaram virtualmente setenta e seis posições, e ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSSBERG (2001) possuíam nove caixas acústicas dispostas circularmente no plano horizontal.

A opção por treze alto-falantes levou em consideração a necessidade de uma padronização dos ângulos entre as fontes sonoras, tendo no mínimo uma à frente, uma atrás, uma de cada lado da cabeça e uma acima, central. Este número mínimo de cinco alto-falantes, com diferença de 90° entre si, não

permitiria que fossem testados ângulos intermediários. Buscou-se então um número que não fosse demasiadamente grande desde que o acionamento de cada um destes seria realizado por interruptores localizados em um console portátil. Assim, chegou-se ao número de treze fontes, que permitiu um “lay-out” apropriado para a superfície do console, comportando todos os “push-bottons” e seus LEDs. Porém, 13 fontes é um número relativamente pequeno, devendo ser considerado como um fator limitante para a compreensão plena do processo de localização sonora, visto que no ambiente natural, o som pode ter sua origem em qualquer posição no espaço.

Por fim, quando se tem intenção de avaliar a localização de fontes sonoras próximas, a distância entre o voluntário examinado e os alto-falantes – o raio – varia de 1,6 m, como no estudo de MORIMOTO (2001) até 85 cm utilizado por ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSSBERG (2001). Entretanto, a maioria dos autores considera a região proximal com aproximadamente 1 m, como por exemplo OLDFIELD & PARKER (1984), GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999), BRUNGARDT, DURLACH & RABINOWITZ (1999), ABEL et al. (2000), CARLILE & BEST (2002), entre outros. O valor de um metro foi adotado também porque, um aparelho com diâmetro maior que dois metros, não seria fisicamente adequado para uma sala de 3x3x3 m.

5.1.1 Estímulos sonoros

RAKERD, HARTMANN & MCCASKEY (1999) afirmam que tons puros são difíceis de serem localizados e que não existem na natureza. Assim, SCHAIK, JIN & CARLIE (1999) sugerem que a localização melhora consideravelmente quando os estímulos são realizados com sons complexos. Por este motivo foram adotadas as ondas quadradas, que possuem um considerável número de harmônicos.

As frequências escolhidas – 1 kHz, 2 kHz e 3kHz – configuraram comprimentos de onda específicos de 34,5 cm, 17,2 cm e 11,5 cm, que representam distância maior que o diâmetro da cabeça, aproximadamente igual e menor, respectivamente. Isto dá a oportunidade de se observar a existência, ou não de uma redução nos acertos da origem do som a partir de 2kHz pela diminuição dos efeitos das diferenças interaurais. Estas frequências, ainda, são algumas das mais dominantes na fala, e também foram testadas por WOODS et al. (2001).

O valor selecionado para a intensidade foi 70 dBA, já utilizado por diversos autores como OLDFIELD & PARKER (1984), WIGHTMAN & KISTLER (1992), SCHAIK, JIN & CARLIE (1999) e JIN et al. (2000), entre outros. WITTON, GREEN & HENNING (2000) sugerem que o valor utilizado seja igual ou superior a 50 dBNPS, pois sabe-se que a localização é melhor com sons de intensidade acima de 30 dBNPS, por ser este o valor da diferença de pressão entre as orelhas através do “efeito sombra”, como defende MILLS (1972). O valor de 70 dB é também superior aos níveis de ruídos encontrados na sala onde foram realizados os teste, 41 dBA.

Para NEPOMUCENO (1994) um som com duração de 0,630ms já pode ser bem localizado através da diferença de tempo de chegada da onda entre as orelhas. WOODS (2001) afirma que os intervalos entre os estímulos devem ser superiores a 2s para uma melhor performance. Desta maneira foi escolhido um estímulo com a duração de 1s, o mesmo tempo encontrado em PERROTT & BUELL (1982), RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998), ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSBERG (2001) e CARLILE & BEST (2002), e com intervalo de 4 s entre eles.

A quantidade de vezes que cada fonte sonora seria estimulada consiste em um fator relevante e deve ser analisado. Na literatura são encontrados números diferentes de estimulações, em cada posição espacial estudada, que variam de duas vezes no estudo de PERROTT & BUEL (1982) até vinte e uma vezes no estudo de RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998). Poucas

repetições, entretanto, podem acarretar a diminuição da confiabilidade do experimento. Em contrapartida, muitas repetições geram estudos mais demorados, o que resulta em um maior número de erros ou em um grande número de sessões diárias de teste por pessoa.

Na maioria dos experimentos as pessoas são remuneradas e não vêm problemas em passar horas sendo testadas, como nos estudos de LITOVSKY et al. (1999) onde os participantes eram testados durante um total de 10 a 15 horas, ou nos de LANDGENDIJK, KISTLER & WIGHTMAN (2001) que os experimentos duravam aproximadamente 20 horas. Como no protocolo deste trabalho havia previsão de remuneração aos participantes e, além disso, cerca de 30 minutos já eram utilizados com os testes preliminares, optou-se por diminuir a quantidade de estimulações por posição no espaço. Cada alto-falante foi, deste modo, acionado apenas três vezes e o tempo total médio de cada experimento não ultrapassou uma hora e meia.

Durante a execução dos estímulos, os voluntários deveriam fixar o olhar em um ponto na parede diretamente à frente, contudo, pequenos movimentos de cabeça eram permitidos. Fato que para THURLOW, MANGELS & RUNGE (1967) melhora a identificação da origem do som. Todavia, como alertou GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999), a percepção da elevação da fonte sonora, com os acidentes do pavilhão ocluídos, não será possível, mesmo quando os movimentos de cabeça são realizados. Os autores afirmam também que, comprimentos de onda sonora maiores que a distância interaural, geram respostas semelhantes entre pessoas com a cabeça fixa ou não. Assim, optou-se por deixar as pessoas parcialmente livres para realizarem pequenos movimentos de cabeça, o que também aproximou mais as condições do estudo às da audição espacial natural.

5.1.2 Respostas

Na literatura consultada não existe um acordo quanto à melhor forma de registro das respostas dos voluntários. OLDFIELD & PARKER (1984) chama a atenção para o fato de que quando estes voluntários têm que responder através do número do alto-falante, como no experimento de SHELTON & SEARLE (1980). Também quando têm que adotar um sistema de coordenadas, dizer uma latitude e uma longitude em graus, para indicar de onde veio o som, a probabilidade de se cometerem erros, causados por confusões inerentes ao método, é muito grande. Desta maneira, os autores sugerem que seja adotado um sistema de apontador laser com máquinas fotográficas que registram automaticamente as respostas.

Podem ser encontrados, ainda, experimentos onde a pessoa tem que indicar a origem do som com a ponta do nariz, como na pesquisa de CARLILE, LEONG & HYAMS (1997) e na de SCHAIK, JIN & CARLIE (1999). O presente trabalho, entretanto, optou por seguir um método similar ao de ABEL et al. (2000), onde as respostas eram obtidas através de um controle com botões, representando espacialmente as fontes sonoras, pois a metodologia de OLDFIELD & PARKER (1984), tornaria o trabalho muito oneroso. Tal opção, reduziria a proporção de erros, caso fosse omitido ao voluntário o número de alto-falantes, utilizando nestes uma venda, ou deixando a sala completamente escura, o que não foi aplicado nesta pesquisa.

5.2 Discussão dos resultados

As respostas percentuais na localização sonora entre os planos, principalmente entre o plano horizontal e o vertical sagital-mediano, confirmam o fato amplamente destacado por pesquisas anteriores, como as de OLDFIELD & PARKER (1984) e as de MIDDLEBROOKS (1992), de que as diferenças interaurais, quando existentes, diminuem os erros de localização. Assim, os voluntários apresentaram maior percentual de acertos na localização no plano horizontal, onde estão presentes tais diferenças, em todas as bandas de freqüências estudadas. Observou-se também que no plano frontal o percentual de acertos foi estatisticamente igual ao do plano horizontal em 2 kHz e de 3 kHz, e mais reduzido em 1 kHz. Este fato não se encontra referido na literatura consultada, pois como nos estudos de PERROTT & SABERI (1990), SCHAIK, JIN & CARLIE (1999) e ZWIERS, VAN OPSTAL & CRUYSBERG (2001), o plano frontal é normalmente estudado como parte integrante de um dos dois outros planos.

Poucos são os estudos que levam em consideração as diferenças entre os sexos, fato que possivelmente se explica pelo pequeno número de participantes observado na maioria das pesquisas, como as de MIDDLEBROOKS (1992), com cinco pessoas, RAKERD, VELDE & HARTMANN (1998), que investigaram a localização de oito pessoas, LANGENDIJK, KISTLER & WIGHTMAN (2001), que avaliou cinco e MORIMOTO (2001), que observou três voluntários. Muitas vezes o próprio autor participa do experimento, como no estudo de GOOSSENS & VAN OPSTAL (1999). Contudo, podem ser encontrados trabalhos que avaliaram a localização de fontes sonoras levando em consideração o gênero, como é o caso do realizado por KARABAEVA (1990), estudando apenas o plano horizontal, e do realizado por JACOBSON et al. (1993). Ambos não encontraram diferenças entre os sexos.

Curiosamente, nesta pesquisa, encontrou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os sexos no plano horizontal, na frequência de 1 kHz, onde as respostas dos homens foram melhores e têm 4,5% de chance de ser explicada pela variabilidade da amostra; ou pode ser explicado pelo fato do grupo masculino possuir uma distância interaural maior do que o grupo feminino, o que aumentaria a diferença no tempo de chegada da onda sonora entre as orelhas. MIDDLEBROOKS & GREEN (1991) sugerem que quanto maior for o atraso entre as orelhas, melhor a capacidade de localização para sons graves. Pode-se supor também, o que é menos provável, pela diferença no tamanho da concha, justamente pelo filtro que esta estrutura representa. Assim, só harmônicos com frequências acima de 13.900 Hz, comprimento de onda de 2,5 cm, seriam mais eficazmente difratados para dentro do conduto, no sexo feminino, onde a concha tem este comprimento. Entretanto, no sexo masculino, o comprimento médio da concha é de 2,7 cm, permitindo que pelo menos um harmônico a mais, nas frequências de 1 kHz e 2 kHz, entre para o conduto (Anexo XII), já que este tamanho difrata frequências acima de 12.900.

A diminuição no total de acertos com o aumento da frequência, é provavelmente explicada pela diminuição do número de harmônicos componentes das ondas mais agudas, utilizadas neste experimento, o que pode ser observada em gráfico no anexo XII. A propósito, BUTLER (1986) e MAKOUS & MIDDLEBROOKS (1990) observaram que quanto menor a banda de frequências maior o número de erros.

A idade foi outro aspecto observado, nesta pesquisa, e que tem sido pouco estudado nos experimentos que testam a localização sonora. O aumento da idade resultou em queda no percentual de acertos na localização da origem do som. Da mesma forma ABEL & HAY (1996) e ABEL et al. (2000), também encontram um déficit na localização de ouvintes normais, com o avanço da idade. Nesta pesquisa pôde ser observado que esta correlação foi mais forte à medida que a frequência foi aumentada, fato que não é referido na literatura, mas que talvez seja explicado pelo estímulo específico utilizado. E também pela

diminuição do espectro de frequências audíveis com o aumento da idade, como afirma ROESSER (2001), o que não foi detectada pela audiometria, pois o audiômetro utilizado só testava até no máximo 8 kHz. Assim, perdas superiores a este valor implicariam em uma percepção menor dos harmônicos utilizados, principalmente para as altas frequências.

Por fim, foi analisada a relação entre as medidas das estruturas anatômicas e o percentual de acertos de localização do som. Os resultados encontrados neste trabalho, relativos ao aumento dos acertos no plano vertical secundário ao aumento do comprimento do pavilhão, foram semelhantes aos encontrados por OLDFIELD & PARKER (1984). Para os autores, as estruturas do pavilhão ajudam na localização sonora no plano vertical, principalmente para sons agudos. Quanto à localização no plano horizontal, de forma similar aos achados de BATTEU (1967) e BUTTLER (1987), que defendem uma melhora nos acertos deste plano devido às VETA, os erros diminuíram com o aumento do tamanho da concha, em 1 kHz e 2 kHz. Possivelmente, um tamanho maior dessa estrutura difrataria para dentro do conduto auditivo um número maior de harmônicos, facilitando a localização.

CAPÍTULO 3

Conclusões

1. O percentual de acertos na localização sonora espacial foi mais elevado no plano horizontal, do que nos outros dois, exceto em 2 kHz e 3 kHz, onde os acertos foram estatisticamente iguais aos do plano frontal. Já a localização no plano vertical foi menor para todas as frequências.
2. Observou-se uma diminuição percentual nos acertos, à medida que se aumentava a frequência, sendo os erros menores em 1 kHz e maiores em 3 kHz.
3. O aumento da idade implicou no aumento dos erros e esta correlação foi maior para os sons agudos e menor para os sons graves.
4. Constataram-se diferenças na localização da origem do som relativas ao gênero, sendo as respostas do sexo masculino melhores do que as do sexo feminino, no plano horizontal, a 1 kHz. Existe para os primeiros uma relação entre o comprimento da concha e o aumento dos acertos neste plano, a 1 kHz e 2 kHz, que não foi observada no grupo feminino isoladamente.
5. Encontrou-se uma relação entre o comprimento da concha e os acertos nas frequências de 1 kHz e 2 kHz, no plano horizontal, e entre o comprimento do pavilhão e os acertos nas frequências de 3 kHz, no plano vertical. Nas demais estruturas não foram observadas correlações significativas.

6.1 Perspectivas

6.1.1 Perspectivas pessoais

O conhecimento adquirido através desta pesquisa, não se atribui apenas ao crescimento objetivo do pesquisador a respeito dos modelos teóricos e metodológicos inerentes à prática científica, mas a uma ampliação nas relações humanas, impossíveis de serem estabelecidas caso os voluntários fossem tratados exclusivamente como objetos de um experimento.

Foram estabelecidas relações informais, após cada teste, onde as experiências entre pesquisador e voluntário eram trocadas. Desde aquele instante, os participantes tiravam dúvidas, relatavam impressões e davam sugestões, na medida em que a teoria básica sobre o assunto lhes era explicada.

Peculiaridades como, por exemplo, a de um músico que obteve um número extraordinário de acertos em todos os planos, aproximando-se de 95%, ou de uma senhora que se sobressaiu, em relação às outras mulheres de sua idade, e que informalmente relatou que gostava muito de música e de cantar, mostram o muito que ainda se tem a investigar, e que uma abordagem que leve em conta apenas a objetividade dos dados, parece insuficiente para abranger a complexidade antropológica de uma pesquisa. A partir deste entendimento, existe a intenção, no futuro, de se acrescentar algumas variáveis subjetivas, qualitativas, que possam estar relacionadas com os processos de localização sonora espacial. Mas, antes de tudo, pretende-se manter o respeito pelos interlocutores com o retorno dos resultados e conclusões deste estudo. Assim, dois seminários serão organizados na UFPE com este propósito.

6.1.2 Estudos futuros

Pretende-se, ainda, estudar espectros mais extremos na estimulação sonora, dentro das possibilidades do aparelho já construído, comparando-se às respostas entre as frequências de 500 Hz e 4,5 kHz, por exemplo, para constatar a melhor detecção por DTI nos sons graves e por DII nos agudos, relatada na literatura.

Outro aspecto é a padronização e a transformação deste teste com a validação clínica para a sua utilização como exame diagnóstico, que poderá ser desenvolvida com uma amostra maior e mais diversificada.

E, finalmente, o aprofundamento do estudo, relativo aos efeitos do envelhecimento no processo de localização do som, com uma avaliação auditiva de altas frequências, para que perdas auditivas, não diagnosticadas comumente, possam ser detectadas. Estas são algumas das perspectivas de estudos futuros.

CAPÍTULO 7

Referências bibliográficas

ABEL, S.M.; GIGUERE, C.; CONSOLI, A.; PAPSIN, B.C. The effect of aging on horizontal plane sound localization. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 108, n. 2, p. 743-752. 2000.

ABEL, S.M.; HAY, V.H. Sound Localization: the interaction of HPDs, aging and hearing loss. **Scand. Audiol**, v.25, p.3-12. 1996.

ARONSON, E., & ROSENBLOOM, S. Space perception in early infancy: Perception within a common auditory/visual space. **Science**, v. 172, n. 172, p. 1161-1163, 1971.

BATTEU, D.W. The role of the pinna in human localization. **Proc. R. Soc. London Ser, B**, v. 168, p.158-168. 1967.

BEITEL, R.E. Localization of azimuthal sound direction by the great horned owl. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 90, n. 5, p. 2843-2846. 1991.

BERNSTEIN, L.E; AUER, E.T.; MOORE, J.K.; PONTON, C.W.; DON, M. SINGH, M. Visual speech perception without primary auditory cortex activation. **Neuroreport**, v. 13, n. 3, p. 311-315. 2002

BLAUERT, J. Binaural localization. **Scad. Auol.** suppl., v. 15, p.7-26. 1982.

BLAUERT, J. **Spatial Hearing : the psychophysics of human sound localization**. London: The MIT Press. 1999. 494 p.

BLAUERT, J. Sound localization in the median plane. **Acoustic**, v. 22, p. 205-213. 1969/70.

BOEHNKE, S.E. ; PHILLIPS, D.P. Azimuthal tuning of human perceptual channels for sound location. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 106, n. 4, p. 1948-1955. 1999.

BROWN, C.H.; BEECHER, M.D.; MOODY, D.B.; STEBBINS W.C. Localization of pure tones by old world monkeys. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 63, n. 5, p.1484-92. 1978.

BROWN, C.H.; MAY, B.J. Sound localization and binaural process. *In*: BERKEY, M.A. ; STEBBINS W. C. **Comparative perception**. Vol. I. basic mechanisms. New York: John Wiley, 1990. p. 247-283.

BRUNGART, D.S.; DURLACH, N. I.; RABINOWITZ, W. M. Auditory localization of nearby sources. II. Localization of a broadband source. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 106, n. 4, p.1956-1968. 1999.

BUTLER, R.A. An analysis of the monaural displacement of sound in space. **Percept. Psycho.** v. 41, p.1-7. 1987.

BUTLER, R.A. On the relative usefulness of monaural and binaural cues in locating sound in space. **Psychonomic Science**, v. 17, p. 245-246. 1969.

BUTTLER, R.A. The bandwidth effect on monaural and binaural localization. **Hearing Res.** v.21, p.67-73. 1986.

CARLILE, S.; BEST,V. Discrimination of sound source velocity in human listeners. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 111, n. 2, p.1026-1035. 2002.

CARLILE, S. LEONG, P. HYAMS, S. The nature and distribution of erros in the localization of sounds by humans. **Hearing Res.** v.114, p.179-196.1997.

CRUZ, P.C.; PEREIRA, L.D. Comparação do desempenho das habilidades auditivas e de linguagem, em crianças com queixa de dificuldade de aprendizagem. **Acta Awho**, v.15, n. 1, p. 21-26. 1996.

EYSENCK, M.W.; KEANE, M. **Cognitive Psychology: A Student's Handbook**. New Jersey: Psychology Press. 2000. 533 p.

FAY, R.R.; FENG, A. Mechanisms for directional hearing among nonmammalian vertebrates. *In*:YOST, W.A; GOUREVITCH,G. **Directional Hearing**. New York: Springer-verlag. 1987. p. 179-213.

FAY, R.R.; POPPER, A.N. Evolution of hearing in vertebrates: the inner ears and processing. **Hearing Research**, v. 149, p. 1-10. 2000.

FERGUSON, S.A.; HANSHTROUDI, S.; JOHNSON,M.K. Age differences in using source-relevant cues. **Psychol. Aging**, v. 7, n. 3, p. 443-452. 1992.

FRANZONI, L.P.; LABOROZZI, D.S. A study of damping effects on spatial distribution and level of reverberant sound in a rectangular acoustic cavity. **J Acoust. Soc. Am.** v. 106, n. 2, p. 802-815. 1999.

GARDNER, M.B. Some monaural and binaural facets of median plane localization. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 54, p. 1489-1495. 1973.

GOOSSENS, H.H.L.M.; VAN OPSTAL, A.J. Influence of head position on the spatial representation. **The America Physiological Society**, v. 81, p.1634-1648. 1999.

GOUREVITCH, G. The localization and lateralization of sound by land mammals. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 73, n.1, p. 17-18.1983.

HARTMANN, B. How we localize sound, 1999. **American Institute of Physics**. Disponível em <<http://www.aip.org/pt/nov99/locsound.html>>. Acesso em 28 set. 2001.

HEFFNER, H.E. & HEFFNER, R.S. Sound localization and high-frequency hearing in horses. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 73, n. 1, p. 42. 1983.

HEFFNER,R.S; GIMSEONG,K; HEFFNER, H. E. Sound localization in a new-world frugivorous bat, *Artibeus jamaicensis*: Acuity, use of binaural cues, and relationship to vision. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 109, n. 1, p. 412-414. 2001.

JACOBSEN, F; ROISIN, T. The coherence of reverberant sound fields. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 108, n. 1, p. 204-210. 2000.

JACOBSON, G.P. TEPLY, N. PETERSON, E.L. NEWMAN, C.W. AHMAD, B.K. KANNA, I. MORAN, J. WHARTON, J. Reexamination of gender differences in the source of N1m. **J. Am. Acad. Audiol.** v.4, n.2, p.69-75.1993.

JIN, C.T. CARLILE, S. CORDEROY, A. SCHAIK, A. V. **Spectral cues in human sound localization**. London: The MIT Press, p.768-774. 2000.

JONGKEES, L.B.W.; GROEN, J.J. On directional hearing. **J. Laryngology and Otology**. v. 61, p. 494-504. 1946.

KARABAEVA, G.S. Capacity of monaural localization of sound sources in the horizontal plane. **Vestn. Otorrinolaringol.** v.6, p.15-18. 1990.

KAISER, J.; LUTZENBERG, W.; PREISSEL, H.; AKERMANN, H.; BIRBLAUMER, N. Right-hemisphere dominance for the processing of sound-source lateralization. **J. Neurosci.**, v. 20, p. 6631-6639. 2000.

LANGENDIJK, E.H.A. KISTLER, D.J. WIGHTMAN, F. L. Sound localization in the presence of one or two distracters. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 109, n.5, p.2123-2134. 2001.

LESSARD, N.; PARÉ, M.; LEPORE, F.; LASSONDE, M. Early-blind human subjects localize sound sources better than sighter subjects. **Nature**, v. 395, p. 278-280. 1998.

LITOVSKY, R.Y.; ASHMEAD, D.H. Development of binaural and spatial hearing in infants and children. In: GILKEY, R.H.; ANDERSON, T.R. **Binaural and spatial hearing in real and virtual environments**. New Jersey: Lawrence Erlbaum associates publishers. 1997. cap. 7.

LITOVSKY, R.Y.; COLBUM, H.S.; YOST, W.A.; GUZMAN, S.J. The precedence effect. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 106, n. 4, p. 1633-1654. 1999.

LITOVSKY, R.Y. Developmental changes in the precedence effect: Estimates of minimum audible angle. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 102, n. 3, p. 1739-1745. 1997.

LITOVSKY, R.Y.; HAWLEY, M.L.; FLIGOR, B.J.; ZUREK, P.M. Failure to unlearn the precedence effect. **J. Acoust. Soc. Am.**, v.108, n. 5, p. 2345-2352. 2000.

LITOVSKY, R.Y.; MACMILLAN, N.A. Sound localization precision under conditions of the precedence effect: Effects of azimuth and standard stimuli. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 96, n. 2, p.752-758. 1994.

LITOVSKY, R.Y.; SHINN-CUNNINGHAM, B.G. Investigation of the relationship among three common measures of precedence: Fusion, localization dominance, and discrimination suppression. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 109, p. 346-358. 2001.

LORENZI, C.; GATEHOUSE, S.; LEVER, C. Sound localization in noise in normal-hearing listeners. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 105, n. 3, p.1810-1820. 1999.

LUNDY-ERMAN, L. **Neurociência: Fundamentos para a reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 2000. 347p.

MACPHERSON, E.A.; MIDDLEBROOKS, J.C. Listener weighting of cues for lateral angle: The duplex theory of sound localization revisited. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 111, n. 5, p. 2219-2235. 2002.

MAKOUS, J.C. MIDDLEBROOKS, J.C. Two-dimensional sound localization by human listeners. **J. Acoust. Soc. Am.** v.87, p. 2100-2200. 1990.

MORIMOTO, M. The contribution of two ears to the perception of vertical angle in sagittal planes. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 109, n. 4, p. 1596-1603. 2001.

MAY, B.J.; HUANG A.Y. Sound localization behavior in cats. I. Localization of broadband noise. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 100, n. 2, p. 1059-1069. 1996.

MIDDLEBROOKS, J. C.; GREEN, M. Sound localization by human listeners. **Annu rev. psychol.**, v. 42, p. 135-159. 1991.

MIDDLEBROOKS, J.C.; MAKOUS, J.C.; GREEN, D.M. Directional sensitivity of sound-pressure levels in human ear canal. **J. Acoust. Soc. Am.** v. 86, p. 89-108 1989.

MIDDLEBROOKS, J. C. Narrow-band sound localization related to external ear acoustics. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 92, p. 2607–2624. 1992.

MILLS, A. Auditory localization. *In*: TOBIAS, **Foundations of Modern Auditory Theory**, volume II, New York: Academic Press. 1972. p. 301-348.

MOORE, D.R.; KING, J.A. Auditory perception: the near and far of sound localization. **Current Biology**, v. 9, n. 10, p. 361-363. 1999.

MÜLLER, R.; SCHNITZLER, H. Acoustic flow perception in cf-bats: Extraction of parameters. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 108, n. 3, p.298-1299. 2000.

NÉLISSE, H.; NICOLAS, J. Characterization of a diffuse field in a reverberant room. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 101, p. 3517-3524. 1997.

NEPOMUCENO, L.A. **Elementos de acústica física e psicoacústica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1994. 104 p.

OLDFIELD, S.R.; PARKER, S.P.A. Acuity of Sound localization: A topography of auditory space. I. Normal hearing conditions. **Perception**. v. 13, p. 581-600. 1984.

PARK, T.J.; DOOLING, R.J. Sound localization in small birds: Absolute localization in azimuth. **Journal of Comparative Psychology**., v. 105, n. 2, p.125-133. 1991.

PERROTT, D.R.; BUELL, T.N. Judgments of sound volume: Effects of signal duration, level, and interaural characteristics on the perceived extensity of broadband noise. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 72, n. 5, p. 1413-1417. 1982.

PERROTT, D.R. SABERI, K. Minimum audible angle thresholds for sources varying in boths elevation and azimuth. **J. Acoust. Soc. Am.** v.87, n.4, p.1728-1731.1990.

PETERSON, A.P.G.; GROSS, E.E. **Handbook of Noise Measurement**. 7. ed. Massachusetts: General Radio Co. 1963. p. 9.

POPULIN, L.C.; YIN, T.C. Pinna moviments of cat during sound localization. **J. Neurosci.**, v. 18, n. 11, p. 4233-43. 1998.

RAKERD, B.; HARTMANN, W.M.; MCCASKEY, T. L. Identification and localization of sound sources in the median sagittal plane. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 106, n. 5, p. 2812-2820. 1999.

RAKERD, B.; VELDE, T.J.V.; HARTMANN, W.M. Sound localization in medial sagittal plane by listeners with presbycusis. **J. Acd. Audiol.** v. 9, p. 466-479. 1998.

RANDOM NUMBER GENERATOR. Project for DOS/Windows, Version 1.0.
Written by: Windy Weaver and Mike Raulin, 1997.

ROESSER, R.J. **Manual de consulta rápida em audiolgia: um guia prático.** Rio de Janeiro: Revinter. 2001. 388 p.

SCHAIK, A.V.; JIN, C.; CARLIE, S. Human localisation of band-pass filtered noise. **International Journal of Neural Systems**, v. 9. n. 5, p. 441-446. 1999.

SEARLE, C.L.; BRAIDA, L.D.; CUDDY, D.R.; DAVIS, M.F. Binaural pinna disparity: another localization cue. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 57, p. 448-455. 1975

SHELTON, B. R., AND SEARLE, C. L. The influence of vision on the absolute identification of sound-source position. **Perception & Psychophysics**, v.28, n. 2, p. 589-596. 1980.

SONODA, S.; GOISHI A. Pattern of localization error in patients with stroke to sound processed by a binaural sound space processor. **J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry**. v. 70, p. 43-49, 2001.

SOUND FORGE. Project for Windows, version 5.0. Sonic Foundry inc. 2001.

THURLOW, W.R.; MANGELS, J.W.; RUNGE, P.S. Head movements during sound localization. **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 42, p. 489-493. 1967.

TRISTÃO, R. Localização do som no espaço. **Psicol. Teor. Pesq.** v. 13, n. 1, p. 161-71. 1997.

ZAKARAUSKAS, P.; CYNADER, M.S. Aural intensity for a moving source. **Hera Res.** v. 52, p. 233-244. 1991.

ZWIERS, M.P.; VAN OPSTAL, A.J.; CRUYSBURG, J.R.M. A spatial hearing deficit in early-blind humans. **The Journal of Neurosci.** , v. 12, p.1-5. 2001.

WEVER, E. G. Sound reception. **Encyclopaedia Britannica.** 2002.
Disponível em: <<http://www.britanica.com/eb/article?eu=117501>>. Acesso em: 10 maio 2002.

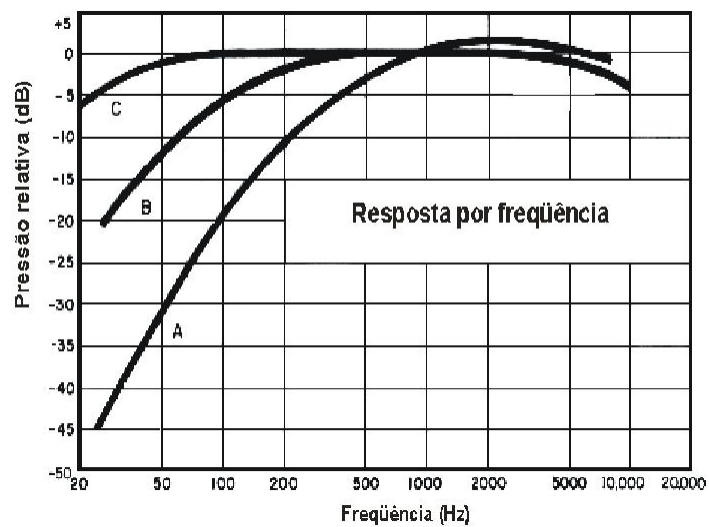
WIGHTMAN, F. L.; KISTLER, D. J. The dominant role of low frequency interaural time differences in sound localization, **J. Acoust. Soc. Am.**, v. 91, p. 1648–1661. 1992.

WITTON, C.;GREEN,G.G.;HENNING,G.B. Monaural and binaural detection of sinusoidal phase modulation of a 500Hz tone. **J. Acoust. Soc. Am.** , v. 108, n. 4, p. 1826-1833. 2000.

WOODS, DL ; ALAIN, C.; DIAZ, R. ; RHODES, D.; OGAWA, K.H. Location and frequency cues in auditory selective attention. **Journal of experimental psychology: Human Perception and Performance**, v. 27, n.1, p. 65-74. 2001.

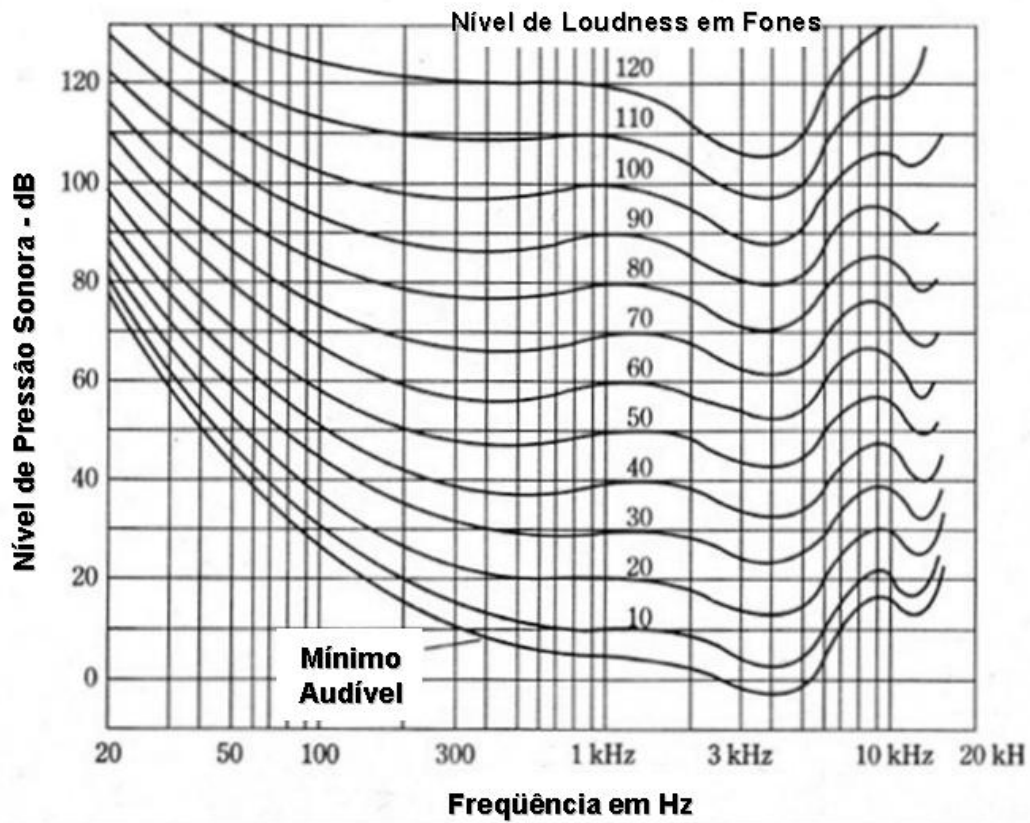
ANEXOS

Anexo I - Curvas de ponderação



Fonte: www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/ (Acesso em: 26 jan 2002)

Anexo II - Curvas de audibilidade de Fletcher & Munson



Fonte: <http://www.silcom.com/~aludwig/EARS.htm> (Acesso em: 8 abr 2002)

Anexo III - Termo de consentimento livre e esclarecido

Título:

Localização Espacial de Fontes Sonoras por Ouvintes Normais em Ambiente Reverberante

Prezado(a) Sr(a)

Esta pesquisa se propõe a realizar uma comparação entre o número de acertos na localização de fontes sonoras de pessoas com audição normal nos diversos planos espaciais existentes. O estudo se faz necessário porque até hoje ainda não foi formulada uma hipótese que explique na íntegra este mecanismo de localização.

Inicialmente serão realizadas: medições anatômicas, uma otoscopia (observação do ouvido externo), uma audiometria tonal (um exame que testa a capacidade auditiva através de estímulos sonoros que vão diminuindo de intensidade até se chegar no mínimo capaz de se ouvir), e um teste de processamento auditivo central (exame que testa a capacidade de compreensão sonora), uma imitanciometria (exame que testa o funcionamento da membrana timpânica). Posteriormente será realizado um teste para localizar fonte sonora que consiste em indicar para o examinador a origem do som, apontar a caixa de som que produziu o estímulo).

Os exames realizados nesta pesquisa são largamente utilizados nas avaliações audiológicas em todo o mundo e não oferecem riscos à saúde de quem se submete a eles. Esclarecemos ainda que nenhum dos referidos exames causa dor, ou qualquer mal estar físico ou mental, a curto ou longo prazo.

A sua participação na pesquisa constará em responder a um resumido questionário de triagem e em seguida submeter-se à avaliação audiológica acima citada. Todos os exames da avaliação deverão ser realizados em apenas um dia. Os resultados dos mesmos serão analisados posteriormente.

Em hipótese alguma, o participante desta pesquisa será identificado. A identificação será apenas do conhecimento do avaliador, que nada revelará, por questões éticas.

O(a) senhor(a) mesmo tendo assinado este documento fica livre para, a qualquer momento, retirar o seu consentimento e deixar de participar do estudo em andamento. Uma vez concluído, é permitido ao autor do estudo realizar publicações em revistas, jornal, livros e eventos sócio-científicos, desde que não haja a quebra do anonimato do participante.

Declaro ter sido informado, verbalmente e por escrito, a respeito da pesquisa supracitada, e concordo em participar, espontaneamente, dando entrevista que será gravada, e submetendo-me aos procedimentos de avaliação audiológica necessários, uma vez que foi garantido meu anonimato.

Recife, _____ de 2002.

Testemunha

Participante

Equipe: Pedro de Lemos Menezes (Pesquisador)
Dr. Mauricy Motta (Orientador)
Dr. Silvio Caldas Neto (Co-Orientador)

Pesquisador

Contato: Laboratório de Fono-Engenharia
Departamento de Biofísica UFPE.
Fone: 3271 8535

Testemunha

Anexo IV - Questionário

QUESTIONÁRIO

I – IDENTIFICAÇÃO:

NOME: _____
 DATA: _____
 IDADE: _____
 SEXO: _____

II – PASSADO OTOLÓGICO:

- Infecções de ouvido (mais de três episódios/ano) S() N()
- Uso de medicação ototóxica: S() N()
- Cirurgias de ouvido S() N() Tipo: _____

III – HEREDITARIEDADE PARA SURDEZ: S() N()

IV – EXPOSIÇÃO A RUÍDO OCUPACIONAL OU LAZER S() N()

Em caso afirmativo, Tempo mínimo semanal: _____

V – REPOUSO AUDITIVO MÍNIMO DE 14 HORAS: S() N()

VI – ESTADO DE SAÚDE GERAL:

- Doenças ()N ()S _____
- Medicções ()N ()S _____

VII – MEATOSCOPIA: normal () ausente ()

VIII – TESTES DE IMITANCIOMETRIA: normal () ausente ()

IX – AUDIOMETRIA TONAL E VOCAL: normal () ausente ()

X – PROCESSAMENTO AUDITIVO CENTRAL: normal () ausente ()

OBS: _____

Anexo V – Fotos dos paquímetros

Utilização de paquímetros para as medições anatômicas



A voluntária autorizou a publicação das fotos acima nesta dissertação.

Anexo VI – Formulário para as medições anatômicas

Medições anatômicas (Anotações)

1. Distância entre as orelhas: _____
2. Comprimento do Pavilhão: E=____ D=_____
3. Largura do Pavilhão: E=____ D=_____
4. Comprimento da Concha: E=____ D=_____
5. Largura da Concha: E=____ D=_____
4. Profundidade da Concha: E=____ D=_____

Anexo VII - Aparelhos utilizados



Otoscópio: Welch Allyn 29090

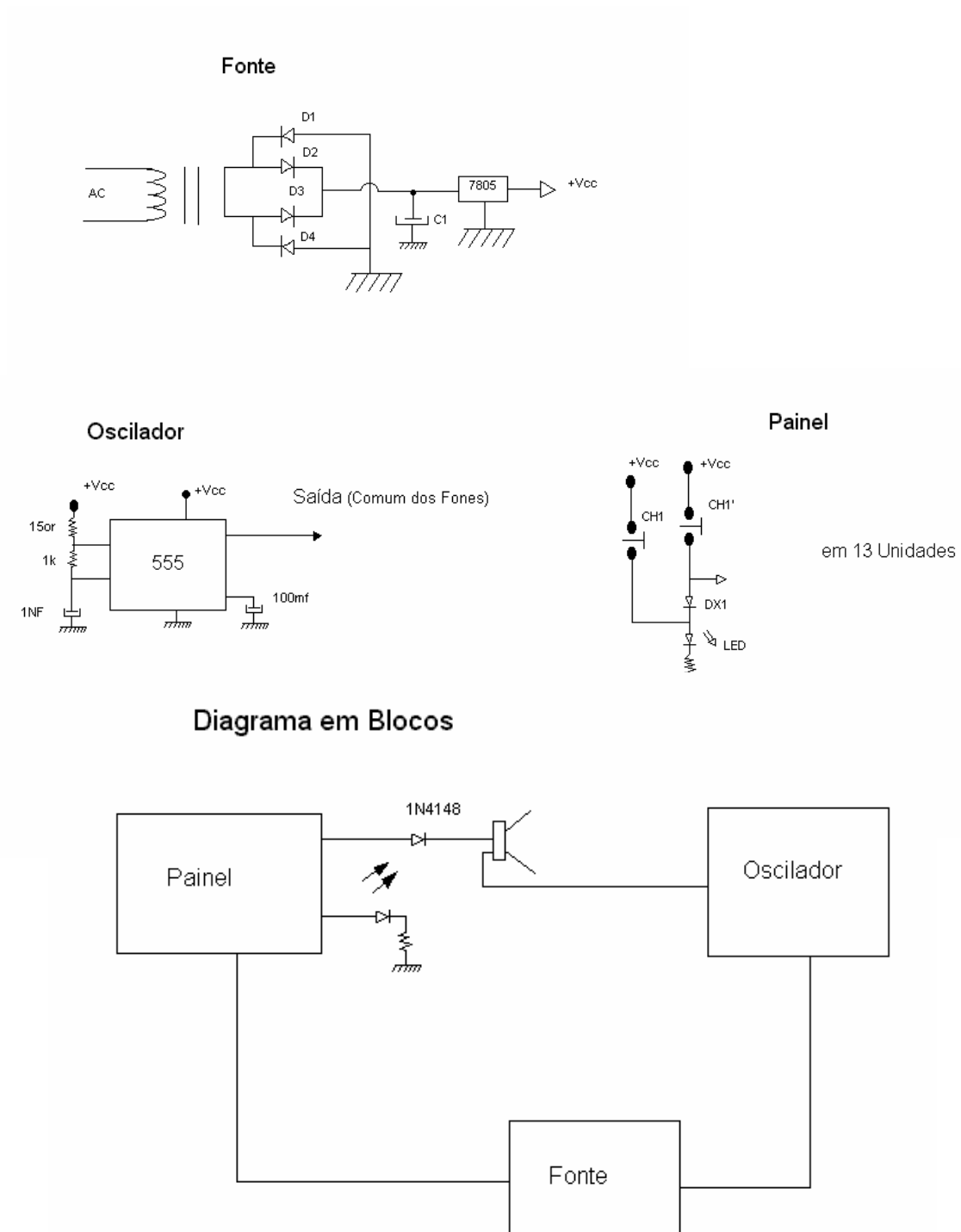


Imitanciômetro: Interacoustics AZ7

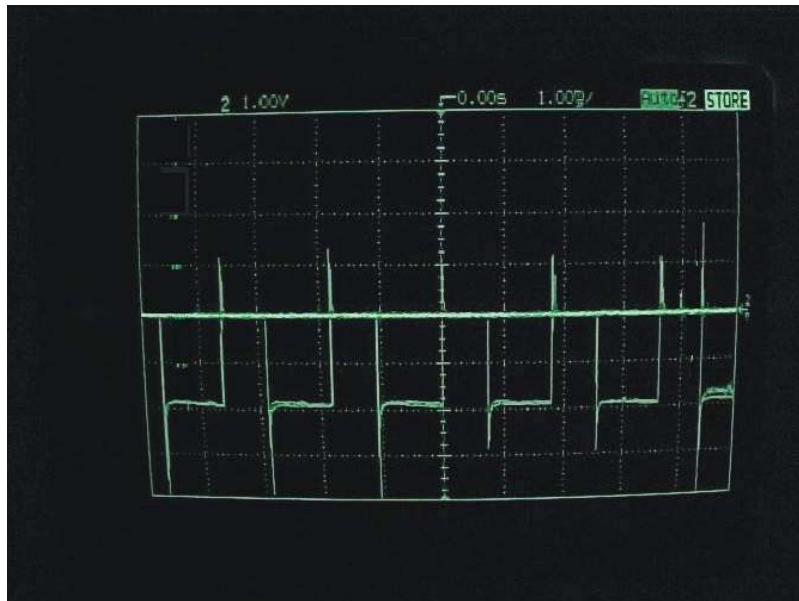


Audiômetro: Madsen Midimate 622

Anexo VIII – Esquemas do gerador de sinal



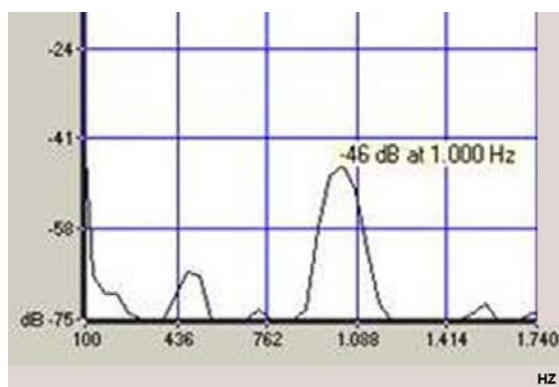
Anexo IX – Sinal



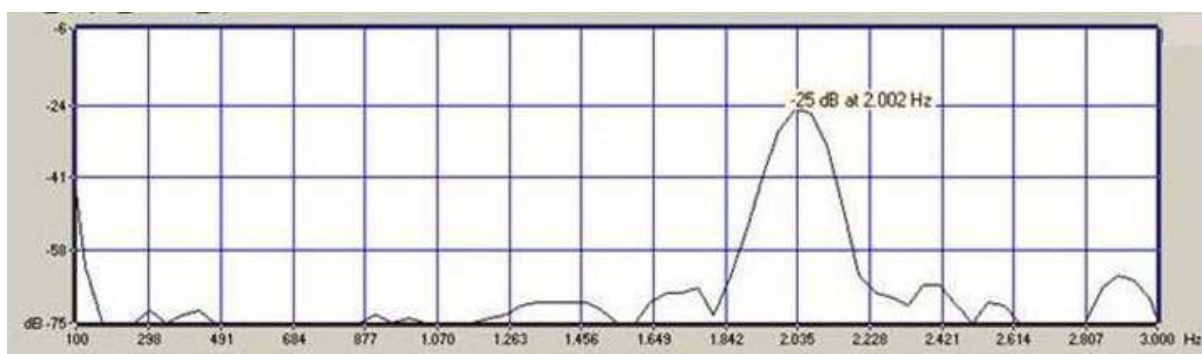
Onda quadrada gerada, analisada pelo osciloscópio Hewlett Packard 54600B.

Anexo X – Ruídos gerados

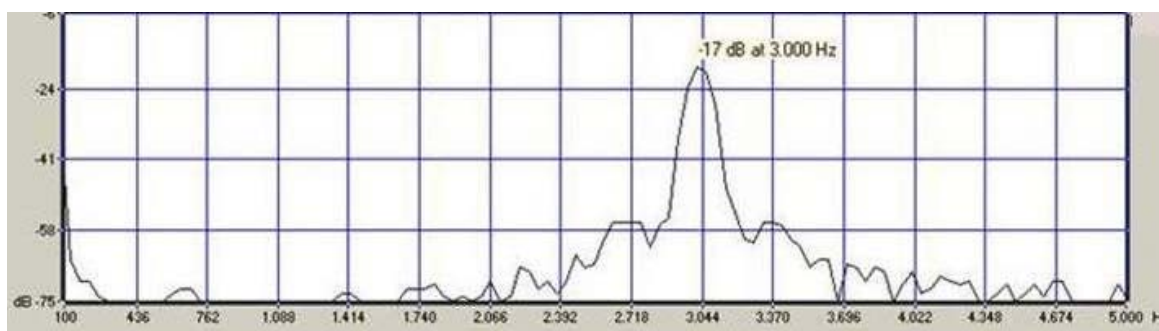
Sinal sonoro analisado pelo software SOUND FORGE.



Harmônico fundamental do ruído de 1kHz.



Harmônico fundamental do ruído de 2kHz.



Harmônico fundamental do ruído de 3kHz.

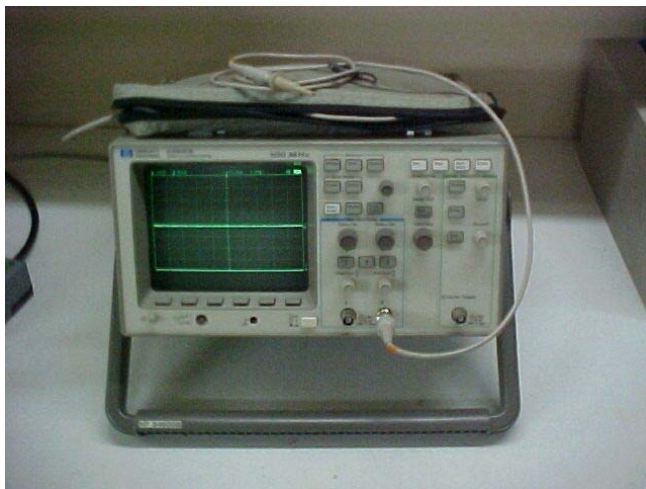
Anexo XI – Aparelhos calibradores



Multímetro: Extech 383273



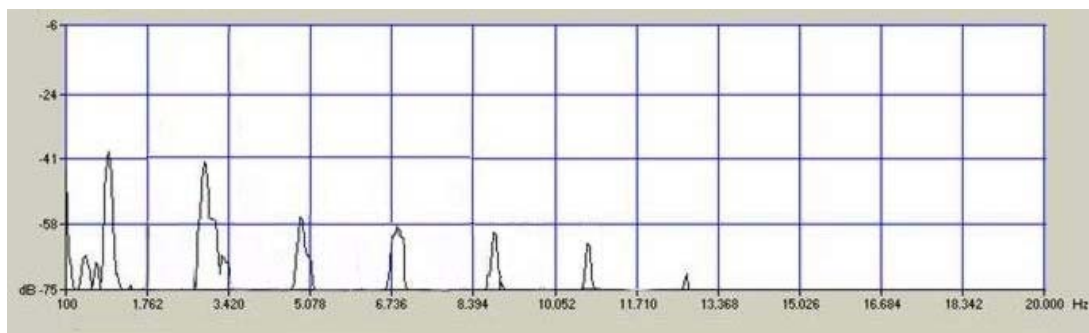
Decibelímetro: Minipa MSI – 1351C



Osciloscópio: Hewlett Packard 54600B

Anexo XII – Total de harmônicos dos estímulos utilizados

Sinal sonoro analisado pelo software SOUND FORGE.



Anexo XIII - Protocolo I

Teste de Localização Espacial

Treinamento

500 Hz 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

1kHz 13 1 12 3 5 10 8 4 6 11 2 7 9

2kHz 11 3 6 8 4 13 2 7 9 5 10 12 1

3kHz 7 5 6 4 1 2 12 8 9 3 13 10 11

2 kHz

4	6	10	2	8	12	1	5	11	13	3	9	7
7	11	9	8	12	5	6	13	4	2	1	10	3
10	2	4	9	13	8	7	6	12	5	3	1	11

3 kHz

7	2	5	9	8	6	10	3	11	1	4	13	12
3	7	6	1	9	2	12	4	8	5	10	13	11
8	5	10	2	11	12	3	7	6	13	1	4	9

1 kHz

11	9	7	13	10	12	4	2	6	5	1	3	8
12	11	2	7	4	3	1	6	13	5	8	9	10
9	2	12	11	13	7	1	3	6	8	5	10	4

Anotações: _____

Anexo XIV – Aparelho na sala reverberante

