



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

TESE DE DOUTORADO

**MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ DE DEFICIENTES AUDITIVOS
UTILIZANDO-SE CORREÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL**

Ilton Luiz Barbacena

Campina Grande – Paraíba - Brasil

Dezembro - 2010

ILTON LUIZ BARBACENA

TÍTULO:

**MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ DE DEFICIENTES AUDITIVOS
UTILIZANDO-SE CORREÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

Tese de doutorado submetido à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica

Orientadores:

Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire.

Prof. Dr. Benedito Guimarães Aguiar Neto

Campina Grande - Paraíba

Dezembro - 2010

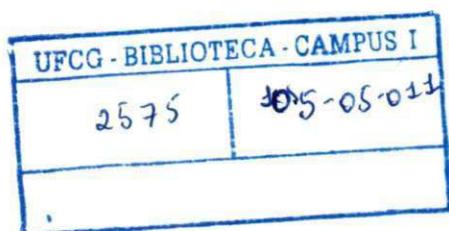
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B228m Barbacena, Ilton Luiz.
Melhoria da qualidade da voz de deficientes auditivos utilizando-se correção da frequência fundamental / Ilton Luiz Barbacena. — Campina Grande, 2010.
179f. : il. col.

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica.
Referências.
Orientadores: Prof^o. Dr^o. Raimundo Carlos Silvério Freire e Prof^o. Dr^o. Benedito Guimarães Aguiar Neto.

1. Processamento de Voz. 2. Estimulador Tátil. 3. Deficientes Auditivos. 4. Microcontroladores. 5. Gerador de Sinal Tátil. Título.

CDU 621.391(043)



MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ DE DEFICIENTES AUDITIVOS
UTILIZANDO-SE CORREÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL

ILTON LUIZ BARBACENA

Tese Aprovada em 03.12.2010

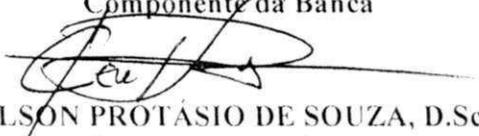

RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFCG
Orientador

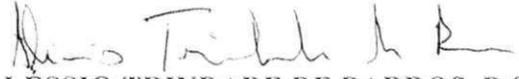

BENEDITO GUIMARÃES AGUIAR NETO, Dr.-Ing., UFCG
Orientador

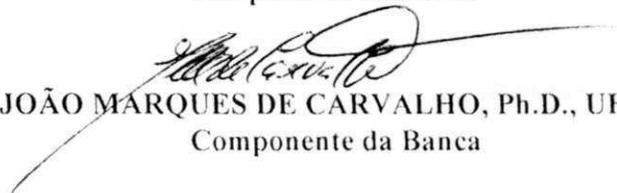

JOSÉ CARLOS PEREIRA, Dr., USP
Componente da Banca

ALLAN KARDEC DUAILIBE BARROS FILHO, Dr., UFMA
Componente da Banca (Ausência Justificada)


EDMAR CANDEIA GURJÃO, D.Sc., UFCG
Componente da Banca


CLEONILSON PROTÁSIO DE SOUZA, D.Sc., UFPB
Componente da Banca


ALESSIO TRINDADE DE BARROS, D.Sc., IFB
Componente da Banca


JOÃO MARQUES DE CARVALHO, Ph.D., UFCG
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
DEZEMBRO - 2010

A memória de meus pais, *Irany Francisco Barbacena* e *Aldília Luiza Barbacena*.

A minha esposa, *Mazelia*, e meus filhos *Marcell* e *Marcella*, que sempre me incentivaram nos momentos mais difíceis.

Dedico humildemente este trabalho

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela luz, pelas oportunidades, pelas dificuldades, pelas conquistas, e por ter sempre colocado pessoas em minha vida que sempre contribuem para o meu desenvolvimento.

Aos meus pais, Irany (in memorian) e Aldilia (in memorian) que contribuíram para a minha formação moral e técnica, tanto no lado material, quanto espiritual. Em especial, à minha mãe, que apesar de termos crescidos em um meio rural, ela, professora primária, sempre acreditou que a educação é a melhor herança que se deixa para os filhos, e nunca poupou palavras de incentivo nos momentos mais difíceis.

A minha amiga e companheira esposa, Mazelia, pelo seu amor, sua paciência e colaboração constante, sempre elevando minha autoestima e acreditando nessa conquista. Sem o seu apoio, esse trabalho não seria possível.

Aos meus queridos filhos Marcell e Marcella que compreenderam e souberam suportar bem minhas ausências necessárias, bem como, o meu mau humor nos momentos difíceis. E por último, pelos incentivos e encorajando-me a buscar este novo desafio em minha vida.

Aos meus orientadores prof. Freire e prof. Benedito Aguiar pela orientação neste trabalho, sempre presentes, acreditando sempre, incentivando, contribuindo valorosamente para o meu progresso.

Aos meus amigos do IFPB que estiveram mais próximos, ajudando e incentivando o nosso trabalho, em particular aos colegas Aléssio, Fechine, Sabiniano, Helder, Silvana, Washington, Evilacy e Marcílio Accioly. Aos meus colegas de trabalho da Coordenação de Eletrônica, do IFPB, que acreditaram neste projeto e pelo incentivo constante.

Aos colegas do LIMC, que sempre nos incentivaram nos momentos difíceis. Em especial aos colegas Bob, Alan, Cristovão, Eline, Euler, Georgina, Elyson, Thiago, Karolie, Carol, Deusdete, Reginardo e tantos outros pelo convívio diário no laboratório.

As colegas da Copele, prof. Benemar, Ângela, Suênia e Pedro, pelo apoio constante e a todos os membros da banca pela contribuição. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a Capes, pelo apoio e financiamento desta pesquisa.

“Quanto mais às pessoas acreditam em uma coisa, quanto mais se dedicam a ela, mais podem influenciar no seu acontecimento”.

Dov Éden

RESUMO

Muitos esforços têm sido registrados para melhorar a comunicação dos surdos por meio da fala, durante processos de oralização. Em muitos casos, o surdo pode aprender a falar e entender o que é dito pelos ouvintes. Em geral, as ferramentas com este propósito utilizam realimentação visual no processo de aprendizagem da fala. Entretanto, há fortes indícios de que o estímulo tátil possa melhorar esse processo. A parametrização das variações da frequência fundamental do sinal de voz, transformadas em vibrações táteis, utilizando-se dispositivos táteis, permite a correção eficiente da frequência fundamental, constituindo-se em uma alternativa interessante que se aplica ao auxílio à oralização de indivíduos surdos. Essa alternativa é igualmente aplicável a indivíduos com múltiplas deficiências como é o caso dos surdos-cegos. Com o controle da frequência fundamental dos surdos, ajudando-os a produzir frequências próximas a valores dos ouvintes, espera-se uma significativa melhoria da qualidade da voz. Este trabalho propõe um sistema em tempo real de correção aprendizagem da frequência fundamental, avaliando algumas formas de codificação de voz pela estimulação tátil, com propósito de contribuir para a melhoria da fala dos surdos em processos de oralização. São apresentados estudos sobre a sensibilidade psicofísica de pessoas com deficiências sensoriais auditivas e visuais, bem como, com pessoas sem nenhuma destas deficiências, com objetivo de avaliar o uso de estimuladores vibro-táteis como alternativa sensorial. Neste estudo foram avaliadas as influências do sexo, idade, nível de escolaridade, além da origem da deficiência. O trabalho avalia ainda diversos parâmetros envolvidos na captação e processamento da voz, na estimação de frequência fundamental e nas transformadas aplicadas à conversão da informação de voz em estimulação tátil. O processo de correção da frequência fundamental utiliza um conjunto de medidas objetivas, baseadas em índices de acerto desta, com a premissa de que, alcançada a correção, se obtenha uma melhoria da fala. Uma avaliação subjetiva da qualidade da fala do surdo foi realizada antes e depois do processo de correção da frequência fundamental para verificar a possível melhoria da fala.

Palavras-chave: Frequência fundamental de voz, surdo, realimentação tátil.

ABSTRACT

Efforts have been carried out in order to improve the deaf's communication by means of speech, during the oralization process. In most cases, the deaf can learn how to speak and understand what is said by the listeners. In general, tools with this purpose use visual feedback in the process of speech learning. Nevertheless, there is strong evidence that the tactile stimulus can enhance such process. The parameterization of the fundamental frequency variations of the voice signal, transformed into tactile vibrations, by the use of tactile devices, enables the efficient correction of the fundamental frequency, constituting, thus, an interesting alternative which is applied while aiding the deaf individuals' oralization. This alternative is equally feasible to individuals with multiple deficiencies, such as the deaf-blind case. With the control of the fundamental frequency of the deaf people, helping them to produce frequencies approximate to the listeners' values, a meaningful improvement of voice quality is expected. This research proposes a real time system of correction/learning of the fundamental frequency, evaluating some forms of voice codification by means of tactile stimulus with the objective of contributing to the deaf people's speech enhancement in the oralization process. Studies on psychophysical sensitivity of people with sensorial, hearing and visual deficiencies are presented as well as in relation to people with none of these deficiencies, with the aim to assess the use of vibrotactile stimulators as sensorial alternative. In these studies, the influences are related to sex, age, and education level, besides the deficiency origin were evaluated. The research still appraises several parameters involved in the voice capture and processing, in the fundamental frequency estimation and in the transformed ones once applied to the conversion of voice information into tactile stimulus. The process of fundamental frequency correction uses a set of objective measures, based on its rightness rate with the intention that once the correction is attained, speech betterment is also achieved. A subjective evaluation concerning the deaf's speech quality was accomplished before and after the correction process of the fundamental frequency in order to verify the possible speech improvement.

Keywords: fundamental frequency of voice, deaf, tactile feedback.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACR	Absolute Category Rating
AEC	Audiological Engineering Corporation
AMDF	Average Magnitude Difference Function
CCR	Comparison Category Rating
CELP	Code – Book Excited Linear Prediction
CEPES	Centro de Ensino para Pessoas Surdas
CMOS	Comparative Mean Opinion Score
COLEA	MatlabSpeech Processing Toolkit (domínio público). (http://www.utdallas.edu/~loizou/speech/colea.htm)
dB	Decibel (Unidade de Medida Logarítmica entre duas Quantidades)
DB SL / DB NA	Decibéis em Relação Nível inicial de Pressão (Start Level). NA corresponde a referência 20 μ Pa
DCR	Degradation Category Rating
DL	Difference Limen
ERG	Excitação do Ruído Glotal
ERN	Energia de Ruído Normalizada
F0	Frequência Fundamental de Voz
FFT	Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)
FUNAD	Fundação Centro Integrado de Apoio ao Portador de Deficiência
HMMs	Modelos de Markov Escondidos (<i>Hidden Markov Models</i>)
IFPB	Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba
ISO	International Standard Organization
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
ITV	Índice de Turbulência Vocal

LAFa	Aplicação gráfica de análise de sinais de fala, de domínio público, desenvolvida na plataforma MATLAB (http://www.deetc.isel.ipl.pt/comunicacoesep/disciplinas/pdf/lafa.zip)
LBG	Algoritmo de Linden, Buzo e Gray
LPC	<i>Linear Predictive Coding</i>
LTAS	Espectrogramas e Espectro Médio de Longo Termo
MDVP	Multi-Dimensional Voice Program
MMEEI	Massachusetts Eye and Ear Infirmary
MOS	Mean Opinion Score
MP-LPC	Multi-Pulse Linear Predictive Coding
NCCF	Normalised Cross-Correlation Function
OMS	Organização Mundial da Saúde
Pa	Pascal (RMS), Unidade de medida de pressão por área
PIC	Peripheral Interface Controller
QPA	Quociente de Perturbação de Amplitude
QPP	Quociente de Perturbação do <i>Pitch</i>
QV	Quantização Vetorial
RHR	Relação Harmônica-ruído
SL	Start Level
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences - Ferramenta computacional
STFT	Short-Time Fourier Transform
TCZ	Taxa de Cruzamentos por Zero
USB	Universal Serial Bus
VAD	Voice Activity Detection

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	3
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	5
1.2.1 Objetivo Geral	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	6
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	7
1.5 ARTIGOS PUBLICADOS	9
2 – PERCEPÇÃO AUDITIVA E ORALIZAÇÃO	10
2.1 OUVIDO HUMANO.....	11
2.1.1 Percepção do som pelo ouvido.....	14
2.1.2 Ruído e surdez	18
2.2 DEFICIÊNCIA AUDITIVA.....	20
2.3 EDUCAÇÃO DE DEFICIENTES AUDITIVOS	24
2.4 PRODUÇÃO DA FALA E PARÂMETROS ASSOCIADOS	30
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SONS	34
2.6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ	37
2.5.1 Métodos Objetivos	38
2.5.2 Métodos Subjetivos	39
2.5.2.1 Testes de qualidade absoluta (Absolute Category Rating – ACR)	40
2.5.2.2 Testes de degradação (Degradation Category Rating – DCR)	41
2.5.2.3 Testes de Comparação (Comparison Category Rating – CCR)	41
2.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ DE SURDOS	42
2.8 RESUMO DO CAPÍTULO	45
3 – CODIFICAÇÃO DA VOZ EM ESTIMULAÇÃO TÁTIL	46
3.1 ESTIMULADORES TÁTEIS COMO UMA ALTERNATIVA SENSORIAL.....	46
3.2 AS CAMADAS DA PELE E O SENTIDO DO TATO	48
3.3 PARÂMETROS VIBRO-TÁTEIS DE PERCEPÇÃO.....	49
3.3.1 Intensidade.....	49
3.3.2 Frequência	51

3.3.3	Forma de onda	52
3.3.4	Duração	53
3.3.5	Posição ou localização do estímulo.....	54
3.4	TECNOLOGIAS VIBRO-TÁTEIS	55
3.4.1	Dispositivos táteis típicos.....	58
3.4.2	Dispositivos Hápticos.....	59
3.4.3	Escolha do dispositivo tátil para esta pesquisa.....	60
3.5	AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE TÁTIL.....	60
3.5.1	Motivação da investigação da sensibilidade dos dedos da mão.....	61
3.5.2	Metodologia de avaliação da sensibilidade tátil.....	61
3.5.2.1	Equipamentos e Hardware	61
3.5.2.2	Software	62
3.5.2.3	Procedimentos Metodológicos	66
3.5.3	Resultados sobre a avaliação tátil.....	69
3.5.4	Avaliação sobre os resultados da investigação da avaliação tátil.....	74
3.6	CODIFICAÇÃO DE VOZ EM ESTÍMULOS VIBRO-TÁTEIS.....	75
3.6.1	Uso de transformações para mapeamento de sinal sonoro em sinais táteis ...	76
3.7	RESUMO DO CAPÍTULO	82
4 –	SISTEMA DE CORREÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL	84
4.1	ELEMENTOS DE HARDWARE.....	84
4.1.1	Gerador de sinais	84
4.1.2	Protocolo de comunicação entre o computador e o gerador de sinais.....	85
4.2	ELEMENTOS DE SOFTWARE	88
4.2.1	Relatórios do sistema.....	93
4.2.2	Parâmetros padrões do sistema.....	95
4.2.3	Considerações sobre a rotina de captura da voz.....	96
4.3	ESTIMAÇÃO DA FREQUENCIA FUNDAMENTAL	97
4.3.1	Considerações sobre a escolha do método de estimativa de pitch	97
4.3.2	Descrição do algoritmo default do sistema para extração de pitch	101
4.3.3	Considerações sobre a escolha do método de estimativa de pitch	104
4.4	METODOLOGIA ADOTADA EM UMA INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS	105
4.5	RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS	110

4.6 CONCLUSÕES SOBRE A INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS.....	115
4.7 RESUMO DO CAPÍTULO	116
5 – AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ.....	117
5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	117
5.1.1 Detalhamento dos procedimentos para cada sessão	118
5.1.1.1 Primeiro dia	118
5.1.1.2 Segundo ao quarto dia:	118
5.1.1.3 Quinto dia:	118
5.1.1.4 Premiações	118
5.1.2 Gravação da voz	119
5.1.2.1 Equipamento e software utilizado	119
5.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PARA AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA VOZ	120
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO	121
5.4 RESULTADOS DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DA AVALIAÇÃO	125
5.5 RESUMO DO CAPÍTULO	126
6 – CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	127
6.1 CONCLUSÕES FINAIS	129
6.1.1 Com relação à investigação da sensibilidade tátil das pontas dos dedos da mão dominante de pessoas cegas, com deficiência auditiva e pessoas sem nenhuma deficiência:	129
6.1.2 Com relação à investigação sobre o uso de transformações para codificação da frequência fundamental da voz em sinal vibro-tátil, em tempo real:.....	130
6.1.3 Com relação à investigação sobre o uso da correção da frequência fundamental da voz para melhoria na qualidade da voz:	130
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
APÊNDICE A - DIAGRAMA ELETRÔNICO DA PLACA DO GERADOR DE SINAIS	146
APÊNDICE B - TERMO DE COMPROMISSO E CERTIDÃO DO COMITÊ DE ÉTICA	148
APÊNDICE C - TELAS DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ...	150
APÊNDICE D - TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ.....	156
ANEXO A - ESTATÍSTICA BÁSICA	172

ÍNDICE DE FIGURAS

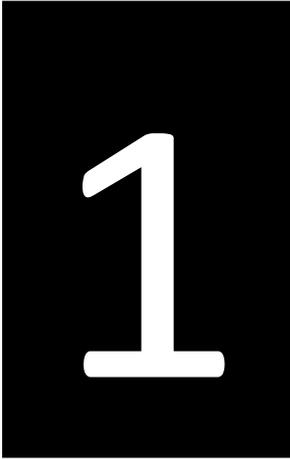
Figura 1- 1 Configuração para aprendizagem da frequência fundamental para deficientes auditivos...	6
Figura 1- 2 Transdutor Inercial Comercial VBW32 da Audiological Engineering	7
Figura 2- 1 Modelo do ouvido humano (Modificada de Lawrence Rabiner, pg 132, 2000)	12
Figura 2- 2 Limiar de audibilidade para um jovem com audição normal.....	17
Figura 2- 3 Curvas isofônicas (FLETCHER, 1933).....	17
Figura 2- 4 Perda Auditiva com o envelhecimento (http://www.neuroreille.com/promenade/english/audiometry/faudiometry.htm , em Dez/2010)	20
Figura 2- 5 Modelo do trato vocal (RABINER E SCHAFFER, 1978)	30
Figura 2- 6 Forma de onda da palavra "Aplausos" e detalhe da janela de 20 ms com a vogal /a/	31
Figura 2- 7 Forma de onda do fonema /s/ na palavra "palmeiras"	32
Figura 2- 8 Forma de onda do fonema /j/ da palavra "viajar"	33
Figura 2- 9 Forma de onda do fonema /v/ na palavra "viajar"	33
Figura 2- 10 Fonema /b/ da palavra "bola"	33
Figura 2- 11 Primeiros formantes : F1, F2 e F3 das vogais orais do português brasileiro	36
Figura 3- 1 Detalhe da captação do estímulo tátil (BEAR, M.F. & CONNORS, B.W., 2002)	48
Figura 3- 2 Limiares para a detecção de estímulos vibro-tátil medida como uma função da frequência senoidal na eminência tenar da mão direita (VERRILHO & GESCHIEDER, 1992)	50
Figura 3- 3 Limites de sensibilidade entre dois pontos para estímulos táteis em posições diferentes no corpo masculino (GOLDSTEIN, 1999; TAN et al, 1999).....	54
Figura 3- 4 Construção de um atuador inercial (CHOLEWIAK & WOLLOWITZ, 1992)	56
Figura 3- 5 AEC TACTAID VBW32 atuador com jack de 3,5 mm	56
Figura 3- 6 Construção típica de um transdutor linear, adaptado de CHAN (2004).....	57
Figura 3- 7 Atuador C2 a esquerda e o seu modo de operação a direita (MORTIMER et al, 2006)	57
Figura 3- 8 Transdutor piezoelétrico. Fonte: (BLISS et al, 1970).....	58
Figura 3- 9 Diagrama de blocos do teste tátil.....	62
Figura 3- 10 Fluxograma do programa principal de memória tátil	63
Figura 3- 11 Tela com dados do voluntário	64
Figura 3- 12 Tela de treinamento	64
Figura 3- 13 Tela de teste	65
Figura 3- 14 Translado da faixa de frequência fundamental da voz para a faixa de frequência tátil	78
Figura 3- 15 Transformação linear.....	80
Figura 3- 16 Transformação linearMod	80
Figura 3- 17 Transformação Logarítmica	81
Figura 3- 18 Transformação quadrática.....	81
Figura 3- 19 Transformação cúbica	82
Figura 4- 1 Rotina de atendimento a interrupção no gerador de sinais	86
Figura 4- 2 Módulo do sistema responsável pela comunicação com o gerador de sinais	87
Figura 4- 3 Gerador de sinais.....	88
Figura 4- 4 Tela entrada do Sistema.	89

Figura 4- 5 Avaliação inicial do voluntário.....	90
Figura 4- 6 Resultados da avaliação do pitch de um trecho de voz	90
Figura 4- 7 Módulo 2 - configurações dos parâmetros do sinal	91
Figura 4- 8 Módulo de correção da frequência fundamental	92
Figura 4- 9 Gráfico apresentado pelo sistema ao final de cada sessão de correção	93
Figura 4- 10 Arquivo final no formato txt.....	94
Figura 4- 11 Rotina de captura de voz no microfone	96
Figura 4- 12 Detetor de <i>pitch</i>	101
Figura 4- 13 Cálculo da energia de cada segmento do sinal	102
Figura 4- 14 Autocorrelação do resíduo da predição linear – janela com 160 amostras	103
Figura 4- 15 Palavras a serem ditas pelo voluntário.....	108
Figura 4- 16 Arquivo texto gerado ao final de um experimento completo	110
Figura 5- 1 Logística durante a realização do experimento.....	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2- 1 Alguns ruídos típicos em diversas situações, Adapt. EMANUEL and LETOWSKI (2009)	16
Tabela 2- 2 Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente nível de ruído pela máxima exposição diária permissível (PIMENTEL – SOUZA, 1992).....	19
Tabela 2- 3 Grau de surdez	21
Tabela 2- 4 Grau de surdez infantil.....	22
Tabela 2- 5 Esforço vocal para falantes (em dB SL). ISO 9921-2, 1996	35
Tabela 2- 6 Escala de qualidade de audição	40
Tabela 2- 7 Escala de sonoridade para compreensão	40
Tabela 2- 8 Escala de preferência de sonoridade	41
Tabela 2- 9 Escala de degradação.....	41
Tabela 2- 10 Teste de comparação entre elementos de um par: antes e depois	42
Tabela 3- 1 Função de cada receptor das camadas da pele	49
Tabela 3- 2 Escala logarítmica de frequências.....	66
Tabela 3- 3 Teste de ANOVA para comparar as diferenças entre crianças, adolescentes e adultos.....	70
Tabela 3- 4 Teste de ANOVA para comparar as diferenças entre graus de escolaridade dos voluntários	72
Tabela 3- 5 Teste estatístico, test t, para comparação em relação ao sexo	72
Tabela 3- 6 Teste estatístico, teste t, para comparação em relação ao tempo em que foi adquirida a deficiência	73
Tabela 3- 7 Teste estatístico, test t, para comparação dos dedos da mão dos cegos.....	74
Tabela 3- 8 Fator de ajuste proposto para S	79
Tabela 4- 1 Protocolo de comunicação serial	85
Tabela 4- 2 Parâmetros default do sistema	95
Tabela 4- 3 Algoritmos avaliados para extração de pitch	100
Tabela 4- 4 Variáveis adotadas no sistema de aprendizagem de frequência fundamental	106
Tabela 4- 5 Valores adotados para o pitch alvo (Pa).....	107
Tabela 4- 6 Perfil dos voluntários que participaram do experimento	111
Tabela 4- 7 Número de voluntários em relação ao critério adotado para adoção do pitch alvo	111
Tabela 4- 8 Resultado da avaliação da comparação entre as transformadas (médias e desvios padrões)	112
Tabela 4- 9 Avaliação do erro de pitch utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H	113
Tabela 4- 10 Resultado da significância assintótica (p-value) para erro de pitch	113
Tabela 4- 11 Avaliação da taxa de acerto no jogo utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H.....	113
Tabela 4- 12 Resultado da significância assintótica (p-value) para taxa de acerto no jogo.....	114
Tabela 4- 13 Médio de duração dos experimentos por transformação	114
Tabela 4- 14 Avaliação do erro de pitch, do grupo de adultos masculinos, utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H	114

Tabela 4- 15 Resultado da significância assintótica (p-value) do erro de pitch para o grupo de adultos masculinos.....	115
Tabela 5- 1 Pesos da avaliação subjetiva da qualidade da voz	121
Tabela 5- 2 Perfil dos voluntários	122
Tabela 5- 3 Profissões dos avaliadores	122
Tabela 5- 4 Perfil dos avaliadores (juízes).....	123
Tabela 5- 5 Resultado das avaliações.....	123
Tabela 5- 6 Valores de tendência central da variável média das notas	125



INTRODUÇÃO

1- INTRODUÇÃO

O deficiente sensorial tem uma percepção dos acontecimentos exteriores alterada com relação aos indivíduos sem deficiência, o que acaba influenciando em sua capacidade de comunicação. Por isso ele tem tendência a desenvolver mais os demais sentidos sensoriais. Entretanto, a deficiência sensorial leva a dificuldades quanto ao desenvolvimento pessoal e de adaptação social, a depender do tipo e grau da sua deficiência (BARROS, 1996).

A perda da visão e da audição são as perdas sensoriais que mais influenciam na capacidade de integração social de um indivíduo, sendo a deficiência auditiva, especificamente, a que mais influi na sua capacidade de comunicação oral. Um indivíduo com deficiência auditiva, além de não ser capaz de receber a informação acústica, tem dificuldade para aprender a falar naturalmente, pois no aprendizado da fala não recebe realimentação de sua própria voz (ARAÚJO & LIMA, 1999; SZETO & CHRISTENSEN, 1988). Segundo LEJSKA (2004), no deficiente auditivo todas as condições biológicas para a produção de voz estão presentes, exceto a realimentação auditiva para o monitoramento da sua própria voz.

A deficiência auditiva traz muitas limitações para o desenvolvimento do indivíduo. Considerando que a audição é essencial para a aquisição da linguagem falada, sua deficiência influi no relacionamento familiar e cria lacunas nos processos psicológicos de integração de experiências, afetando o equilíbrio e a capacidade normal de desenvolvimento da pessoa (LIMA, 1997).

A tecnologia pode proporcionar aos surdos uma melhor qualidade de vida. Podem-se citar os dispositivos luminosos que funcionam como campainhas residenciais, os aparelhos de fax e celulares que propiciam o envio e recebimento de mensagens escritas e a internet, que permite o acesso ao conhecimento de maneira ampla. Além desses recursos, têm-se ainda os televisores que podem ser utilizados na função *close-caption*, que permite a visualização do conteúdo falado na forma de legendas, o que propicia o entendimento da mensagem pela escrita.

Os amplificadores acústicos são dispositivos de ajuda restritos aos deficientes que ainda possuem audição residual ou que não estejam totalmente surdos. Já os implantes cocleares e sistemas de substituição sensorial são indicados também para pessoas com perdas auditivas profundas e totalmente surdas, respectivamente. Para um diagnóstico correto de uma surdez é preciso fazer uma exploração audiométrica do grau de perda com relação a um

espectro de frequência que vá, pelo menos, de 125 Hz a 4000 Hz, já que esta é a faixa de frequências mais utilizada na fala humana (CASANOVA, 1997).

A dificuldade de comunicação oral entre surdos e ouvintes é um problema que ao longo dos tempos relegou indivíduos com deficiência auditiva a condições inferiorizadas na sociedade, chegando a passarem por loucos. No entanto, a partir do século XVII começaram a ser desenvolvidos métodos para o ensino da fala a surdos, denominados métodos orais, e treinamentos para recepção da comunicação verbal através da leitura labial. Paralelamente também foram desenvolvidas linguagens gestuais, mais naturais para a comunicação entre os surdos (SKILIAR, 2001). Atualmente existem filosofias educacionais que se diferenciam quanto à aplicação das linguagens oral e gestual no ensino do surdo. Embora o aprendizado da língua oral seja reconhecidamente difícil e demorado, é a metodologia mais recomendada pelos estudiosos para a educação de deficientes auditivos (ARAÚJO, 2000).

Os dispositivos de ajuda para deficientes auditivos que se baseiam na substituição sensorial, em vez de utilizarem o canal auditivo, quer seja por estimulação sonora (amplificadores) ou estimulação elétrica (implante coclear), simplesmente não utilizam o mecanismo da audição, e a informação de voz é transmitida via outro canal sensorial, como o tato, a visão ou ambos. Alguns métodos naturais de comunicação utilizados por portadores de deficiência auditiva baseiam-se nos sentidos do tato ou da visão para efetuar a transmissão de informações acústicas. A leitura labial, que é um método visual, e o método de Tadoma¹, exclusivamente tátil, são exemplos que comprovam a possibilidade de compreensão da fala através dos sentidos visual e/ou tátil, fato que motiva a realização de pesquisas para desenvolvimento de sistemas táteis e/ou visuais aplicados ao auxílio à comunicação de deficientes auditivos.

Os dispositivos táteis podem ser baseados em estimulação vibro-táteis ou estimulação eletro-cutânea (KACZMAREK *et al*, 1991), sendo que a maior parte dos dispositivos desenvolvidos, aplicados ao auxílio auditivo, utiliza estimulação vibro-tátil (CHABA, 1991). Estes dispositivos vêm sendo desenvolvidos desde o início do século XX (GAULT, 1924), com o objetivo de auxiliar na percepção da fala, e não com ênfase no ensino da produção da mesma.

Em ARAÚJO (2000) e BUSH(1981) observou-se que os deficientes auditivos apresentam, em média, frequência fundamental da voz mais elevada que a dos falantes

¹ O Método de Tadoma é um método para comunicação com surdo-cegos no qual o “ouvinte” compreende a fala do locutor colocando sua mão na face do mesmo. A compreensão da fala ocorre pela percepção tátil dos movimentos das articulações, vibrações nasais e no pescoço e entrada e saída de ar na boca do locutor.

ouvintes, com maiores variações da frequência fundamental na pronúncia das diferentes vogais. Em LEJSKA(2004) foi realizado uma pesquisa com 35 surdos profundos e comprovado que a frequência fundamental da voz é elevada, para ambos os sexos. Em ARAÚJO e LIMA (1999) foi medida a frequência fundamental de deficientes auditivos pré-adolescentes e obtidos valores médios de 368 Hz, 56,6% acima do padrão apresentado por ouvintes adolescentes.

Em ANGELOCCI, KOPP e HOLBROOK (1964) foram analisadas e comparadas os formantes de vogais em deficientes auditivos e ouvintes entre 11 e 14 anos de idade. Foi concluído que há diferenças em relação à frequência fundamental, sendo a variação de 187 a 204 Hz para ouvintes e de 214 a 254 Hz para deficientes auditivos.

Em CUKIER (2005), foi avaliada a qualidade de voz de uma criança de 7 anos, e observados valores aumentados para a frequência fundamental, e instabilidade e diminuição da frequência do segundo formante. Este desvio do valor da frequência fundamental de voz acaba trazendo inconvenientes aos deficientes auditivos, produzindo forte impacto no comportamento psicológico e social do mesmo (ARONSON, 1985).

Por outro lado, para pessoas saudáveis, conforme apresentado em BEHLAU & PONTES (1995), investigando uma população de 90 pessoas, em São Paulo, foram encontradas as seguintes médias da frequência fundamental da voz: 113,01 Hz para homens, 204,91 Hz para mulheres e 235,76 Hz para crianças. Estes resultados aproximam-se das faixas de frequências estimadas por NEPOMUCENO e FOLMER-JOHNSON, em 1968, que são: de 80 a 150 Hz para vozes masculinas, de 150 a 250 Hz para vozes femininas e acima de 250 Hz para crianças.

1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos para correção da frequência fundamental dos surdos por meio de treinamento com realimentação visual (ARAÚJO, 2000; WATANABE, 1995; HUDGINS, 1935; STERNE & ZIMMERMAN, 1939; MASHIE, 1995; NOVAES & MENDES, 1998). Outros sistemas têm sido desenvolvidos para auxílio ao treinamento de leitura labial através da transmissão por estímulos táteis de informação sobre a

frequência fundamental (BREEUWER e PLOMP, 1985; EBERHARDT *et al*, 1990; GRANT *et al*, 1985; BERNSTEIN *et al*, 1989).

Em BARROS (2004) foi apresentada uma investigação sobre a codificação de estimuladores vibro-tátil, com uso de transformações de sinais na escala de frequência de voz para uma faixa de frequência tátil, com a escolha de parâmetros da fala, no contexto da língua portuguesa. As várias formas de codificação são analisadas por simulações e através de um estudo de caso, em que são avaliados parâmetros acústicos sem realimentação em tempo real, utilizando-se testes de percepção, com objetivo de avaliar informações de acerto ao alvo, por estimulação vibro-tátil.

Embora a capacidade de transmissão de informações pelo canal tátil seja inferior ao canal auditivo, razão pela qual não se consegue transmitir a informação completa da fala por este canal, o tato pode apresentar resultados positivos no auxílio ao aprendizado da fala. O método natural de Tadoma demonstra que o uso da estimulação conjunta dos sentidos vibro-táteis e proprioceptivos melhora a capacidade de transmissão de informações auditivas. Ainda não se encontram relatos, entretanto, de testes destes sistemas na transmissão da fala.

Há fortes indícios de que o estímulo tátil integrado a visão possa auxiliar o deficiente auditivo na comunicação, especificamente no ensino e/ou treinamento da fala. Ou seja, em muitos casos, o surdo pode apreender a falar e entender o que os ouvintes falam.

Com base na bibliografia consultada, há necessidade de mais pesquisas para transmissão acústica aplicada a surdo-cegos, abordando também exercícios que facilitem a emissão e a automação na aprendizagem da fala. Não foi encontrado nenhum trabalho voltado para este segmento de deficientes.

De acordo com BUSH (1981), há necessidade do aprendizado e correção da frequência fundamental pelos surdos, através de treinamento, para diminuir as variações na frequência fundamental na pronúncia das diversas vogais. Para o caso do surdo-cego, o caminho é a utilização de realimentação tátil.

De acordo com BARROS (2004), há necessidade de desenvolvimento e de avaliar a melhoria da qualidade da voz através do controle ou aprendizado da frequência fundamental dos surdos e surdo-cegos.

Em LOPES *et al* (2008) foi realizada uma avaliação das mudanças na voz e na fala de surdos após a aplicação de um procedimento terapêutico que utiliza como apoio uma ferramenta com realimentação visual.

Na bibliografia consultada não foram encontrados registros sobre sistemas em tempo real, com realimentação vibro-tátil, para auxílio à oralização de surdos, utilizando-se correção ou aprendizagem da frequência fundamental. Como também, não foram encontradas pesquisas sobre avaliação da melhoria da qualidade da voz em sistemas de correção da frequência fundamental com realimentação tátil.

Além disso, pesquisas sobre sistemas táteis específicos para ajuda à aprendizagem da fala podem ser de grande importância para indivíduos com múltiplas deficiências, como o caso dos surdo-cegos, que possuem maiores dificuldades de comunicação (SZETO e CHRISTSEN, 1988). Neste caso, a realimentação visual não pode ser utilizada.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um processo de melhoria da fala de pessoas com deficiência auditiva por meio do controle/aprendizado da frequência fundamental, utilizando realimentação tátil, em tempo real, e codificação da frequência fundamental da voz para mapear a escala de frequência fundamental de voz em outra escala de frequência na faixa de melhor percepção tátil.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar os diversos parâmetros envolvidos na captação e processamento da voz, na estimativa da frequência fundamental e nas transformadas aplicadas à conversão da informação de voz em estimulação tátil para um sistema em tempo real;

Investigar as mudanças da frequência fundamental dos voluntários surdos em função do tempo de participação no experimento e da quantidade de participação nos experimentos, bem como, da metodologia empregada;

Avaliar a sensibilidade tátil entre os dedos da mão do indivíduo, em função da faixa de frequências de vibração do estimulador vibro-tátil;

Avaliar a melhoria da qualidade da voz por métodos subjetivos, em indivíduos que participem do processo de correção da frequência fundamental da voz.

1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Esta pesquisa foi realizada em etapas, a qual foram realizadas 03 investigações: (1) Avaliação da sensibilidade tátil dos dedos da mão do indivíduo; (2) Avaliação de transformações para codificação da frequência fundamental da voz em estímulo vibro-tátil (BARROS, 2004; EBERHARDT *et al*, 1990; BARBACENA *et al*, 2009) em um contexto com realimentação tátil em tempo real, conforme ilustrado na Figura 1.1; (3) Avaliação da melhoria da fala de pessoas com deficiência auditiva por meio do controle/aprendizado da frequência fundamental no contexto anterior.

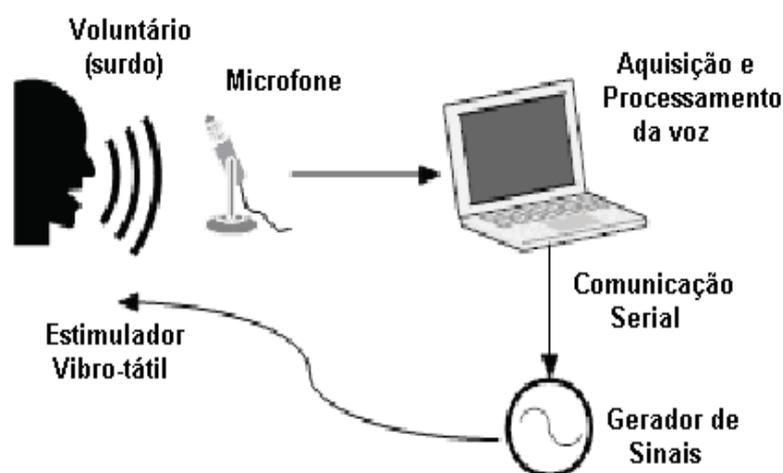


Figura 1- 1 Configuração para aprendizagem da frequência fundamental para deficientes auditivos

Em cada etapa, os resultados foram avaliados utilizando-se o tratamento estatístico de dados, para verificar se existe algum dedo da mão mais sensível, se existe alguma transformação que proporcione menor erro durante a correção da frequência fundamental, e avaliar se existe uma melhoria na qualidade da voz dos voluntários, após submeterem-se ao processo de correção da frequência fundamental.

Para validação das investigações foram utilizados voluntários oriundos da FUNAD (Fundação Centro Integrado de Apoio ao Portador de Deficiência) e da Escola Municipal Índios Pirajibe, ambas na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba.

Para o desenvolvimento dos softwares do computador foi adotada a ferramenta Matlab ®, MathWorks, e um notebook com sistema multimídia, e sistema operacional Windows XP. Para todas as etapas foi utilizado para realimentação vibro-tátil o sensor comercial da Audiological Engineering, ilustrado na Figura 1.2.

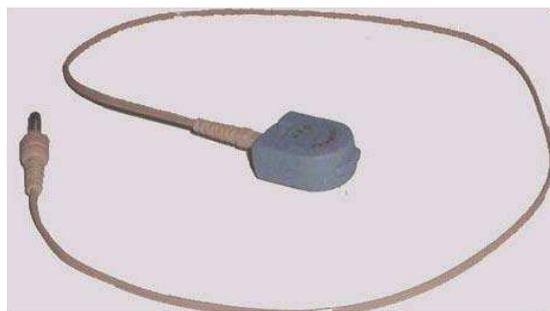


Figura 1- 2 Transdutor Inercial Comercial VBW32 da Audiological Engineering

Para a estimação da frequência fundamental da voz foram testadas algumas alternativas de algoritmos já conhecidos, com atenção especial a exatidão dos resultados e ao tempo de resposta, por tratar-se de um sistema em tempo real. Para o gerador de sinais, ilustrado na Figura 1.1 foi desenvolvido uma placa com microcontrolador PIC e com firmware próprio, utilizando-se linguagem C.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste capítulo foram apresentadas a motivação da pesquisa, os objetivos do trabalho e as linhas gerais do desenvolvimento do trabalho. É destacado, ainda, o uso de

transformações de sinal da escala de frequência fundamental da voz para a escala tátil e o uso do gerador de sinais para acionamento do estimulador vibro-tátil. A avaliação da melhoria da qualidade da voz da participação do voluntário, deficiente auditivo, no processo de correção da frequência fundamental é uma das contribuições do trabalho para validação do processo.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica relativa ao estado da arte de pesquisas que envolvem codificação de voz em estimulação tátil, alguns conceitos sobre percepção auditiva e metodologias utilizadas para avaliação da qualidade de voz.

No Capítulo 3 é apresentado uma revisão bibliográfica relacionada a estimulação tátil, dispositivos táteis, codificações de frequência de voz em estimulação tátil, bem como, resultados de uma investigação sobre sensibilidade tátil dos dedos da mão de indivíduos.

No Capítulo 4 é apresentada uma descrição do sistema proposto para correção da frequência fundamental de voz, a metodologia adotada, considerações sobre a estimativa da frequência fundamental de voz e avaliação dos resultados obtidos durante o processo de investigação de algumas transformações propostas para traslado da frequência fundamental da voz em frequência de vibrações táteis.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados da avaliação da melhoria da qualidade da voz em um processo de investigação com pessoas com deficiência auditiva, utilizando-se a correção da frequência fundamental da voz, bem como, a metodologia e a descrição de como ocorreu o experimento.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas, o anexo e os apêndices. No Anexo A são apresentados conceitos básicos sobre estatística. O Apêndice A, traz o detalhamento dos circuitos eletrônicos do gerador de sinais. No Apêndice B está ilustrado o modelo de termo de compromisso o qual o voluntário autoriza a publicação destes resultados, bem como, a autorização do Comitê de Ética vinculado a Secretaria de Saúde do Estado da Paraíba. No Apêndice C estão ilustradas algumas telas do sistema utilizado pelos avaliadores da melhoria da qualidade da voz. No Apêndice D são apresentados os cálculos estatísticos e resultados da avaliação da melhoria da qualidade da voz.

1.5 ARTIGOS PUBLICADOS

- BARBACENA, I.L. ; BARROS, A.T. ; FREIRE, R. C. S. . *Comparative analysis of tactile sensitivity between blind, deaf and unimpaired people*. Int. Journal Advanced Media and Communication, v. 3, p. 215-228, 2009;
- BARBACENA, I.L. ; Freire, R. C. S. ; BARROS, A.T. ; AGUIAR NETO, B.G. ; CARVALHO, E.A.N. ; MACEDO, E.C.T. . *Voice codification evaluation based on a real-time training system with tactile feedback applied to deaf people*. In: I2MTC 2009 - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009, Singapura. I2MTC 2009 Proceedings, 2009. p. 697-7000;
- BARBACENA, I.L. ; LIMA, A.C.O. ; BARROS, A.T. ; Freire, R. C. S. . *Comparative Analysis of Tactile Sensitivity between Blind, Deaf and Unimpaired People*. In: *International Workshop on Medical Measurements and Applications*, 2008, Ottawa. MEMEA Proceedings, 2008. p. 19-24;
- BARBACENA, I L ; BARROS, A T ; FREIRE, R C S ; VIEIRA, E C A . *Evaluation of pitch coding alternatives for vibrotactile stimulation in speech training of the deaf*. Journal of Physics. Conference Series (Online), v. 90, p. 012092, 2007. ; Meio de divulgação: Digital; Homepage: ; ISSN/ISBN: 17426596.
- BARBACENA, I.L. ; BARROS, A.T. ; FREIRE, R. C. S. ; VIEIRA, E.C.A. . *Evaluation of pitch coding alternatives for vibrotactile stimulation in speech training of the deaf*. In: XVI Congresso Argentino de Bioengenharia, 2007, San Juan. Actas del XVI Congresso Argentino de Bioengenharia, 2007. p. 621-624;
- BARROS, A.T. ; FREIRE, R. C. S. ; BARBACENA, I.L. . *Discriminação entre vogais com base na recepção de informações táteis*. In: IV Congresso Iberoamericano Sobre Tecnologias de Apoio a Portadores de Deficiência, 2006, Vitória. IV Congresso Iberoamericano Sobre Tecnologias de Apoio a Portadores de Deficiência, 2006. v. 1. p. AH237-AH240. Grande área: Engenharias / Área: Engenharia Elétrica / Subárea: Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas; Instrumentação / Especialidade: Instrumentação Eletrônica;
- BRITO, D.S. ; DUAILIBE, A.K.B. ; FREIRE, R. C. S. ; BARBACENA, I.L. . *Heart Instantaneous Frequency Measurement Method Based in LMS Algorithm*. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MEDICAL MEASUREMENT AND APPLICATIONS, 2006, Benevento. IEEE International Workshop on Medical Measurement and Applications, 2006. p. 123-127;

2

Percepção Auditiva e Oralização

2 – PERCEPÇÃO AUDITIVA E ORALIZAÇÃO

Os indivíduos que, por diversas causas, nascem (ou se tornam precocemente) incapazes de ouvir o sinal sonoro desenvolvem naturalmente uma linguagem que usa sinais de natureza visual (gestos). Estas linguagens são designadas línguas gestuais.

As línguas gestuais, embora possuam as características gerais das outras línguas humanas, têm características próprias que derivam da natureza do sinal usado. Para além das expressões faciais (nomeadamente, as posições da boca e das sobrancelhas) e da postura corporal, as línguas gestuais usam um repertório de gestos que são compostos por: configurações da mão (gestos), movimentação ou não da mão, velocidade do movimento, posição do gesto no espaço em frente do falante, etc.

A surdez é objeto de estudo constante de vários profissionais. Inicialmente, o trabalho com surdos enfocava exclusivamente a oralidade e, atualmente, utiliza-se conjuntamente a oralização e a linguagem gestual como meio de comunicação.

Para que ocorram a aquisição e o desenvolvimento da fala adequadamente, é necessário integridade do sistema auditivo, o que não acontece nos deficientes auditivos. O fato da pessoa não conseguir ouvir não significa que não possa falar e o processo de aprendizagem da fala dos deficientes auditivos, conjuntamente com a leitura labial forma o processo da oralização. Neste caso, a fala poderá desenvolver-se por meio de procedimentos específicos de terapia fonoaudiológica associando pistas táteis-cenestésicas e visuais.

Alguns estudos mostram resultados positivos na utilização de softwares que enfocam a realimentação visual como meio de aprimoramento da oralidade (ARAÚJO e LIMA, 1999; BOMMRITO, 2000).

Pesquisando na bibliografia, não foi encontrada nenhuma ferramenta específica de informática de ajuda à oralização de surdo-cegos. Pensando-se na questão da inserção dos surdos e surdo-cegos no mercado de trabalho, optou-se por realizar um estudo, que procura melhorar a qualidade da voz utilizando realimentação vibro-tátil, trabalhando com a correção da frequência fundamental da voz.

Durante a realização deste trabalho, quando eram buscadas informações junto aos fonoaudiólogos na região, surgiu uma demanda de mercado para utilização deste procedimento, na terapia com locutores, repórteres e apresentadores de telejornais. Estes profissionais necessitam falar em uma faixa específica da frequência fundamental da voz. As ferramentas disponíveis para melhoria da fala destes profissionais utilizam realimentação

visual. Entretanto, neste caso, durante o processo de correção, o sujeito tem que ficar lendo um texto e lendo os resultados parciais, sobrecarregando o sentido da visão. Desta forma, a realimentação tátil torna-se desejável para ajustar a entonação, simultaneamente, enquanto faz a leitura dos textos durante o treinamento.

Nos tópicos seguintes deste capítulo, serão abordados aspectos fisiológicos do ouvido humano, a questão da deficiência auditiva, a educação dos deficientes auditivos e alguns aspectos sobre a produção da fala e avaliação da qualidade da voz.

2.1 OUVIDO HUMANO

A função do ouvido é de converter o som em impulsos nervosos, que são transmitidas ao cérebro para produzir as sensações sonoras. Da mesma forma que muitos autores assemelham o funcionamento do olho humano com uma câmara fotográfica, há outros que comparam o ouvido com o microfone (HIIPAKKA, 2010).

Tradicionalmente, dá-se o nome de orelha (do latim: aurícula) ou pavilhão auricular (ou pavilhão auditivo externo ou ainda ouvido) à parte externa cartilaginosa do aparelho auditivo, ligada diretamente ao canal do ouvido externo. O aparelho auditivo humano é dividido em três partes cada uma com suas funções próprias sendo as três indispensáveis para o bom funcionamento da audição: ouvido externo ou orelha, ouvido médio e ouvido interno, conforme ilustrado na Figura 2.1.

A parte do ouvido externo compreende a Orelha ou pavilhão auditivo e o canal externo onde o som é afunilado. A onda de som alcança o ouvido sendo guiada através do ouvido externo para o ouvido médio.

A função principal do pavilhão auditivo é coletar sons, agindo como um funil e direcionando o som para o canal auditivo externo. Outra função é ajudar a localizar a origem dos sons que chegam ao indivíduo. Além disso, realiza um processo de filtragem que seleciona sons na faixa de frequência da voz humana facilitando o entendimento. O Pavilhão Auricular é anatomicamente dividido em Hélice, Anti-hélix, trago, antitrago e lóbulo. Já o conduto auditivo externo tem a função de transmitir os sons captados pela orelha para o tímpano além de servir de câmara de ressonância ampliando algumas frequências de sons. Ele é constituído por cartilagem no terço lateral e osso nos dois terços mediais.

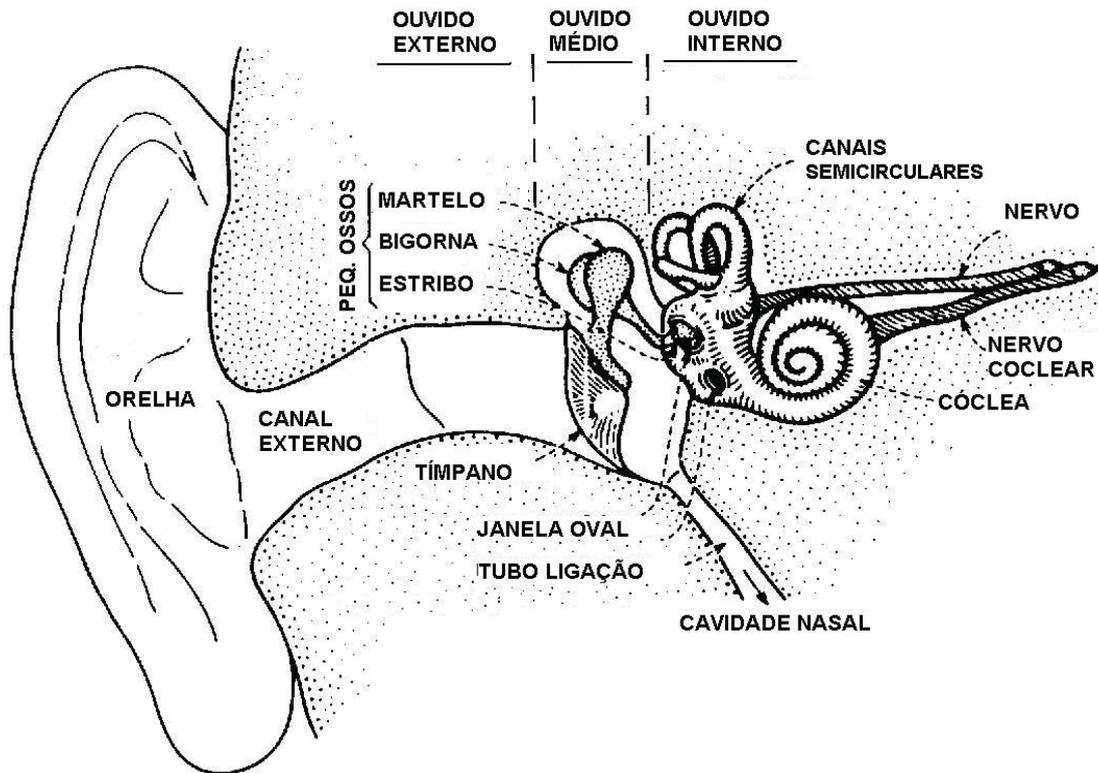


Figura 2- 1 Modelo do ouvido humano (Modificada de Lawrence Rabiner, pg 132, 2000)

O ouvido médio compreende a membrana do tímpano na qual o som provoca a vibração do sistema transdutor mecânico (martelo), o qual transforma a forma de onda em vibrações mecânicas no ouvido interno.

O ouvido médio é uma cavidade cheia de ar constituído de 3 pequenos ossos interconectados: martelo, bigorna e estribo, denominados dessa forma por sua semelhança conspícua com esses objetos. Os mamíferos são os únicos animais que possuem três ossos no ouvido, ligando o tímpano à orelha interna. Individualmente, os ossos são menores que um grão de arroz. Esses ossículos estão localizados na cavidade em forma de ervilha do ouvido médio e estão conectados formando uma ponte entre a membrana timpânica e a janela oval. Através de um sistema de membranas, eles conduzem as vibrações sonoras ao ouvido interno. Os ossículos são os menores ossos do corpo humano e já estão em seu tamanho completo ao nosso nascimento. Enquanto as ondas sonoras movem a membrana timpânica, esta move os ossículos. Os três ossos na verdade formam um sistema de alavancas que transferem a energia das ondas sonoras vindas do ouvido externo, através do ouvido médio para o ouvido interno.

Os 3 pequenos ossos do ouvido médio agem como amplificadores das vibrações da onda sonora.

O ouvido interno, consiste na “cóclea”, que é um fluido que se encontra dentro da membrana basilar, e do nervo auditivo (GERGES, 2000).

No ouvido interno o som é convertido em sinais neurais por uma estrutura chamada cóclea a qual tem forma de caracol. O ouvido interno é composto pela cóclea, pelo aparato vestibular e pela tuba auditiva ou trompa de Eustáquio. O último osso da cadeia ossicular, o estribo, está acoplado a uma fina membrana chamada de janela oval. A janela oval é na realidade uma entrada para o ouvido interno, que contém o órgão da audição, a cóclea. Quando o osso estribo move, a janela oval move com ele. No outro lado da janela oval está à cóclea, um canal em forma de caracol preenchido por líquidos e, quando as vibrações chegam à cóclea proveniente do ouvido interno, são transformadas em ondas de compressão que por sua vez ativam o órgão de Corti que é responsável pela transformação das ondas de compressão em impulsos nervosos que são enviados ao cérebro para serem interpretados. O líquido é agitado pelos movimentos da janela oval e, dentro da cóclea, o órgão de Corti é formado por milhares de células ciliadas (20 mil a 30 mil) que são colocadas em movimento toda vez que o líquido é movimentado. A estimulação destas células, por sua vez, causa impulsos elétricos que são enviados para o cérebro.

O ouvido interno também contém um órgão muito importante que está na verdade conectado com a cóclea, mas que não contribui para o nosso sentido da audição, o sistema vestibular, formado por três pequenos canais semicirculares, que nos ajudam a manter o equilíbrio do corpo e auxiliar na visão já que as rotações da mesma precisam ser compensadas para que possamos ter uma visão clara sem ser borrada. É através dele que se pode saber, por exemplo, quando se está com o corpo inclinado mesmo estando de olhos vendados e problemas com os canais semicirculares podem resultar em sintomas como a vertigem.

A audição é um fator chave na manutenção de trocas intelectuais, mas possivelmente ainda mais importante, a audição supre o pano de fundo auditivo que dá o sentimento de participação e segurança.

2.1.1 Percepção do som pelo ouvido

O som resulta de um movimento vibratório de partículas materiais. Muitos corpos podem servir como fonte sonora, porém devem ter uma característica vibro-tátil (RUSSO, 1993). A Percepção do som pelo ouvido pode ser definida como a sensação produzida quando as vibrações longitudinais de moléculas no ambiente externo atingem a membrana timpânica. O som transita pelo ar em forma de ondas a uma velocidade aproximada de 321,8 m/s que ao atingir o ouvido, produzem as sensações sonoras.

Segundo GUYTON (1988), o mais baixo murmúrio que podemos ouvir possui apenas cerca de um milionésimo de energia sonora de voz falada normal, o que demonstra a extrema sensibilidade do ouvido para a detecção do som. Uma corda de violino, por exemplo, ao vibrar, cria o som por seu movimento de vaivém, de forma tal que quando a corda mexe-se para frente, comprime o ar e quando se mexe para trás, reduz o grau de compressão até um valor abaixo do normal. Essa compressão e relaxamento alternados do ar é o que produz o som.

As características básicas do som são: intensidade, frequência, duração e o timbre, que são características da fonte sonora.

A frequência de um som é o número de oscilações da pressão por segundo que acontecem em regiões definidas da membrana basilar e é expressa em Hertz (Hz), percebido como altura do som. O ouvido humano é capaz de perceber sons na faixa de frequência entre 16 e 20000 Hz. O grau de sensibilidade para cada frequência varia de pessoa a pessoa e também está relacionado com parâmetros tais como: tempo de exposição ao ruído, idade, sexo (as mulheres têm a agudeza auditiva superior ao homem porque têm o umbral de audição mais baixo) e enfermidades do ouvido como bactérias e vírus. As mulheres são mais resistentes aos ruídos do que os homens. A presbiacusia é um processo degenerativo da capacidade auditiva em função da idade, que se inicia, para alguns, aos 35 anos e para outros entre os 40 e 45 anos, que se agrava com o efeito nocivo do ruído.

A presbiacusia precoce é uma doença que está associada à perda rápida e progressiva da capacidade auditiva naqueles trabalhadores que estão expostos a ruídos. Os sons de baixa frequência (abaixo de 1000 Hz) são chamados de graves e os que se encontram acima de 3000 Hz são chamados de agudos. Na natureza encontram-se misturas de vibrações

de diferentes frequências. Os sons, em forma quase absoluta, estão constituídos por componentes de muitas frequências.

A intensidade do som depende da energia das oscilações e define-se em termos de potência por unidade de área. Os sons que existem na natureza têm intensidades diferentes, sendo o intervalo de intensidade sonora muito ampla. Isso representa uma grande dificuldade quanto à adequação destes a uma escala de medida eficiente. Assim se chegou ao consenso de utilizar uma unidade logarítmica para medi-la, cuja unidade é chamada decibel (dB). Como unidade de medida, o decibel (dB) é proporcional ao logaritmo da razão entre uma quantidade medida e uma de referência. Aplicada à acústica, é a unidade prática que se emprega para medir o nível de pressão sonora tomando como referência a pressão acústica mais débil que pode perceber o ouvido humano médio, 0 dB NA (nível de audição), correspondendo a pressão sonora de 20 μ Pa (microPascals) para uma frequência de 1 kHz (GERGES, 2000). Pa é uma unidade de medida de pressão que equivale a força de 1 N (Newton) aplicada sobre uma superfície de 1 m² e equivale a 10⁻⁵ bar.

O ouvido humano de jovens normais é capaz de perceber sons que têm uma pressão sonora que varia entre um intervalo de 2x10⁻⁵ Pa (quando começa a perceber o som) até 2x10⁴ Pa (limite de dor) para curtos períodos de exposição. Como o intervalo é muito grande, ao utilizar a escala em decibéis os valores encontram-se normalmente entre 0 e 120 - 140 dB. Os sons a que o ser humano está submetido no dia a dia, em sua casa, durante o tráfego, em seu trabalho, etc. estão na faixa de 50 – 80 dB, e em muitos casos infelizmente, acima de 80 dB, o que pode afetar o ouvido. Valores acima dos 120 dB podem provocar sensação de dor.

Apresenta-se na Tabela 2.1 a intensidade dos sons em situações comuns no dia a dia. Na Figura 2.2 apresenta-se um gráfico do limiar de audibilidade de um indivíduo jovem sem problemas de audição (média da população) em função da frequência.

Para determinar o limiar de dor, experimentalmente, aumenta-se o nível de intensidade sonora do som até que o observador sinta uma sensação dolorosa acompanhando a audição. Isso deve ocorrer, para 1 kHz, em 120 dB e é chamado de limiar da dor. Repetindo-se a experiência para outras frequências obtém-se a curva do limiar da dor, apresentada na Figura 2.2. Assume-se que para valores acima de 160 dB o tímpano pode sofrer ruptura.

A duração de um som é medida em segundos. Desta forma os sons são classificados de curta e longa duração, sendo os de curta duração aqueles que duram menos de 0,1 s e que dificultam a percepção. Os sons de longa duração estão acima de 1 segundo. Os limites da audição dependem, na vida prática, da combinação da frequência-intensidade-

duração. Sons de diferentes frequências e intensidades podem ter a mesma sonoridade, ou ser igualmente audíveis. Então, se diz que têm o mesmo *fone*. Isto é o que faz possível estabelecer as curvas isofônicas, ilustradas na Figura 2.3. Uma curva isofônica é formada por todos os sons que emitem igual sensação auditiva, a uma determinada intensidade, tendo como referência a frequência de 1 kHz. Essas curvas são denominadas curvas de Fletcher e Munson.

O Timbre do som é a composição harmônica do sinal. O timbre permite diferenciar, por exemplo, a mesma nota musical emitida por instrumentos diferentes, através de diversas frequências harmônicas de que compõem um determinado som complexo.

Tabela 2- 1 Alguns ruídos típicos em diversas situações, Adapt. EMANUEL and LETOWSKI (2009)

Nível de som (dB NA)	Exemplos de sons
0	Ruído de um mosquito a 3 m, tom de 1 kHz ouvido por um jovem humano
10	Tic-tac de um relógio a 1 m ou respiração humana ouvida a 3 m
20	Nível de estúdio de gravação ou atrito em folhas de árvore a 3 m
30	Sussurro no ouvido ou ruído do deserto a noite ou ambiente de biblioteca
40	Conversa normal em escritório ou vento das árvores
50	Sala de aula ou ar condicionado externo a 30 m
60	Conversa de um indivíduo para outro a 1 m de distância ou canto de pássaro a 3 m
70	Ruído no interior de uma loja grande ou no interior de um automóvel a 50 km/h
80	Cortador de grama a 3 m ou ruído em uma estrada movimentada a 18 m
90	Ruído no interior de um caminhão a 35 km/h
100	Ruído de uma furadeira a 2 m ou de uma moto-serra a 1 m
110	Ruído a 5 m de uma orquestra sinfônica
120	Ruído a 100 m de uma decolagem de um avião a jato/ limiar de dor
130	Ruído a 1 m de uma banda de Rock
150	Ruído a 30 m de uma decolagem de um avião a jato
180	Ruído de uma explosão a 5 m (0,5kg de TNT) / Bomba hiroshima a 1,5 km
190	Ruído causa ruptura dos tímpanos
200	Ruído de uma Explosão a 3 m (25 kg de TNT) / Causa morte humana
220	Decolagem do foguete Saturn a 10 m

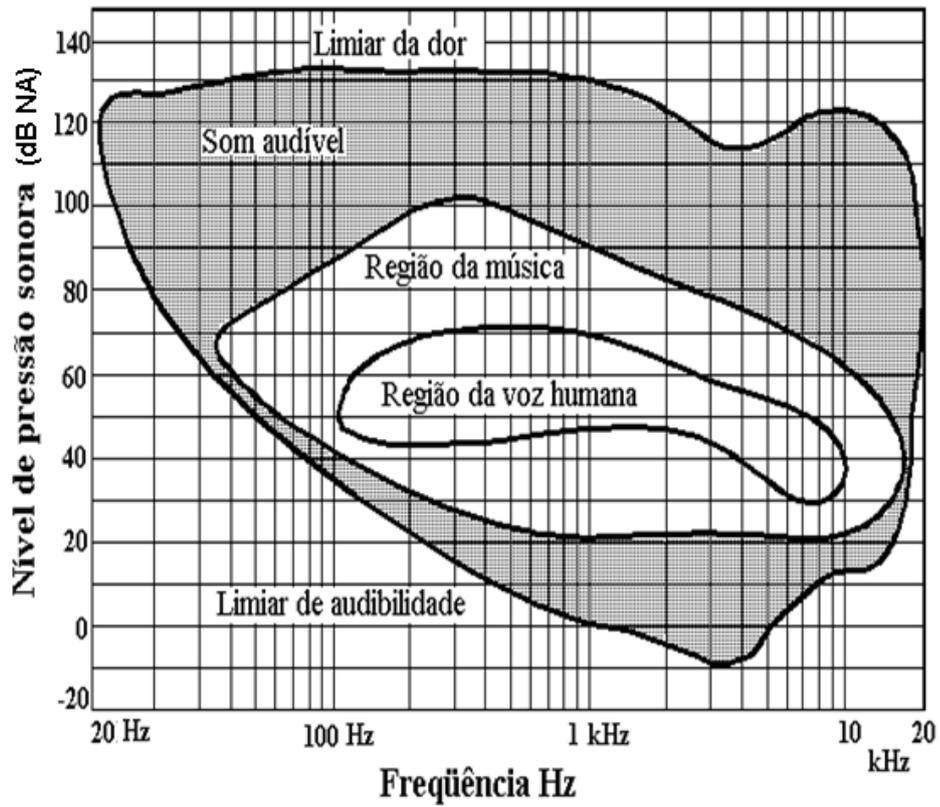


Figura 2- 2 Limiar de audibilidade para um jovem com audição normal

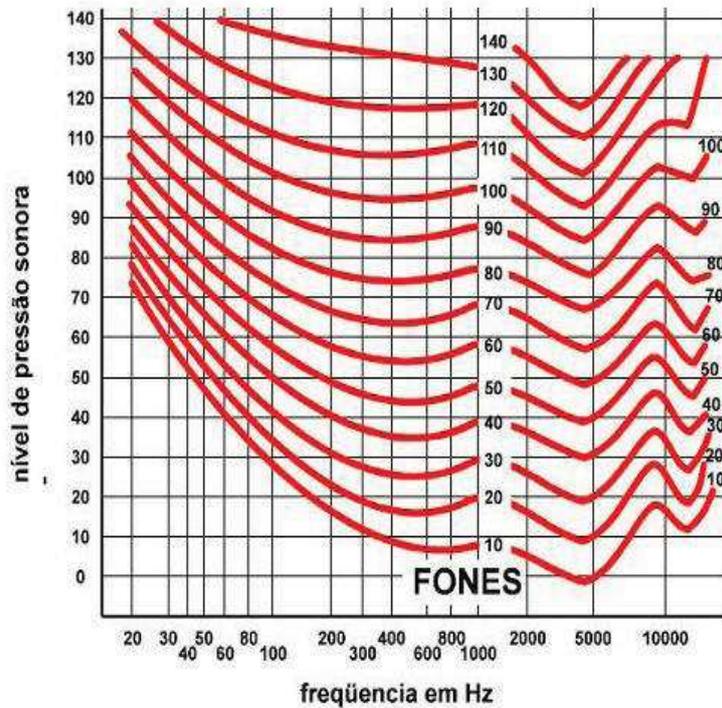


Figura 2- 3 Curvas isofônicas (FLETCHER, 1933)

2.1.2 Ruído e surdez

Os termos som e ruído são frequentemente utilizados indistintamente, mas geralmente, som é utilizado para as sensações prazerosas como música ou fala, e ruído é usado para descrever um som indesejável como buzina, explosões, barulho de trânsito e máquinas. O termo ruído tem sido criticado, uma vez que costuma designar apenas sons desagradáveis, quando se sabe que mesmo sons harmônicos agradáveis, dependendo da sua intensidade e tempo de exposição, podem levar a comprometimento auditivo (FERREIRA JÚNIOR, 1998).

Os primeiros relatos com relação à surdez dos moradores que viviam próximos às cataratas do rio Nilo, no Egito antigo, estabeleciam uma relação causal entre ruído e a perda da audição, foram descritos por Hipócrates (Séc. IV AC) e Plínio Secundus (Séc. I). Em COSTA & CRUZ (1994) é relatada a clássica descrição a respeito do interesse sobre sons ambientais, desde a antiga Roma, quando veículos puxados por animais, andando pelas primeiras vias pavimentadas, incomodavam as pessoas dentro de suas casas durante conversas informais e o sono.

Conforme relatado em CLARK (1991), o ruído é um incômodo e em COSTA & CRUZ (1994) é afirmado que, em grande quantidade e de forma constante, torna-se mais que um incômodo, passando a ser agente causador de doenças. Em RUSSO (1993), o termo ruído, é utilizado para descrever um sinal acústico aperiódico, originado da superposição de vários movimentos de vibração com diferentes frequências, as quais não apresentam relação entre si. Para SANTOS (2001), a poluição sonora é a mais difundida forma de poluição do mundo e sendo a principal causa de hipoacusia e surdez em indivíduos adultos.

O ouvido humano não é igualmente sensível para todas as frequências da faixa audível. A Figura 2.3 apresenta as curvas isofônicas de audibilidade para um tom de 1 kHz comparado com as demais frequências, variando-se a intensidade sonora (COSTA *et al*, 1989). Em uma curva isofônica, de mesma sonoridade, todos os pontos possuem a mesma sensação subjetiva de mesmo nível de pressão sonora, cujos valores numéricos são dados em fones. Por exemplo, 70 dB NA de intensidade sonora para 30 Hz, que corresponde a cerca de 30 fones, é considerado nível baixo de sonoridade, enquanto os mesmos 70 dB NA para 150 Hz, correspondem a cerca de 70 fones, que já é considerado um nível alto de sonoridade.

De acordo com a Norma ISO 2204/1973 (International Standard Organization), os ruídos podem ser classificados segundo o nível de intensidade em: (a) contínuo estacionário – ruído com variações de níveis desprezíveis; (b) contínuo não estacionário – ruído cujo nível varia significativamente durante o período de observação (c) contínuo flutuante – ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável durante o período de observação (d) intermitente – ruído cujo nível varia de um valor apreciável durante o período de observação, várias vezes durante um período de observação; (e) ruído de impacto ou impulso – ruído que se apresenta em picos de energia acústica por um breve período (inferior a 1 segundo).

O ruído de impacto é um fenômeno acústico associado a explosões e é considerado um dos tipos de ruídos mais nocivos à audição, com intensidades acima de 100 dB para ruído de impacto e acima de 140 dB para ruído impulsivo (FEIDMAN e GRIMES, 1985; citados por RUSSO, 1993). A Tabela 2.2 apresenta os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente pela máxima exposição diária permissível.

Tabela 2- 2 Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente nível de ruído pela máxima exposição diária permissível (PIMENTEL – SOUZA, 1992)

Nível (dB NA)	Tempo
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
95	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

A exposição contínua a ruídos acima de 85 dB-NA pode provocar perdas auditivas permanentes e, com aumento de apenas 5 dB, deverá haver uma redução do tempo de

exposição ao ruído pela metade, na escala de tolerância para o ruído, conforme apresentado na Tabela 2.2.

O ruído afeta o organismo humano de várias maneiras, causa prejuízos não só ao funcionamento do sistema auditivo como o comprometimento da atividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto.

2.2 DEFICIÊNCIA AUDITIVA

A deficiência auditiva ocorre em graus variados e é resultado da perda da capacidade de percepção normal dos sons. Existem perdas auditivas de caráter temporário e perdas auditivas de caráter definitivo. Hipoacusia é termo técnico para designar a redução na sensibilidade da audição, sem qualquer alteração da qualidade de audição, que pode ser solucionada com o aumento da intensidade da fonte sonora. Quando ocorre um distúrbio na audição, expresso em qualidade e não em intensidade sonora, e o aumento da intensidade da fonte sonora não garante o perfeito entendimento do significado das palavras, chamamos este fenômeno de disacusia. Em alguns casos a perda auditiva é de causa congênita; em outros casos as pessoas a adquirem durante sua vida devido a enfermidades, exposição a ruídos muito fortes ou intensos, ou pelo próprio processo de envelhecimento do indivíduo. A Figura 2.4 ilustra a perda auditiva do indivíduo em função do seu envelhecimento.

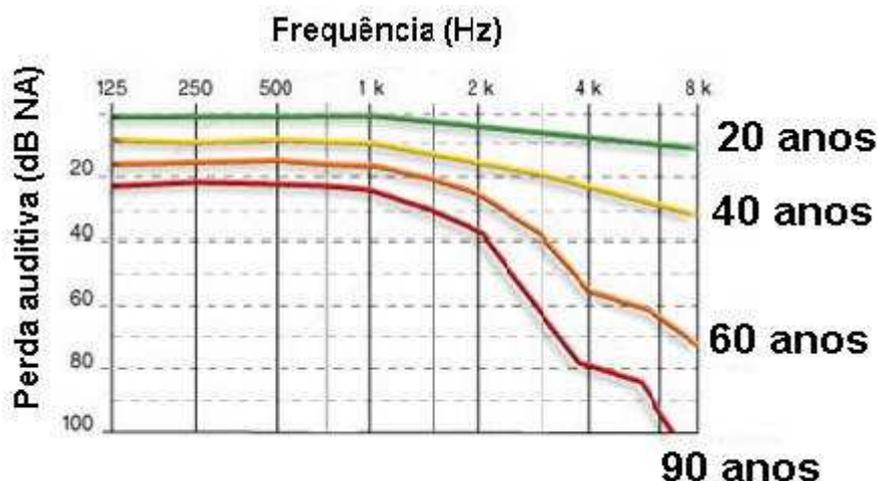


Figura 2- 4 Perda Auditiva com o envelhecimento

(<http://www.neuroreille.com/promenade/english/audiometry/faudiometry.htm>, Dez/2010)

A perda de audição é o déficit sensorial mais comum em humanos, afetando 10% da população acima de 65 anos (WILLIAMS, 2003). Na maioria dos casos, trata-se de uma desordem multifatorial, com fatores genéticos e ambientais. Existem causas puramente genéticas, que podem ser autossômicas dominantes, autossômicas recessivas, ligadas ao cromossoma X, ou hereditárias (mitocondriais).

Além do grau de deficiência auditiva, o deficiente pode ser classificado pelo período em que a mesma surgiu (perdas congênitas ou adquiridas), pela associação com outras deficiências (surdo-cegueira, por exemplo), de acordo com a causa, etc. As perdas adquiridas ocorrem por causas patológicas, como meningite, icterícia, outros processos infecciosos durante a infância, viroses, otites, intoxicações medicamentosas e outros; ou ainda por traumatismos, como exposição contínua a ruídos. As perdas congênitas podem ter origem hereditária ou durante o processo de gestação. No Brasil, a chamada cultura surda tem pouco mais de 120 anos. O número de pessoas com algum tipo de deficiência auditiva no Brasil é de 5,4 milhões, quase 2% do total da população brasileira (BRASIL, 1995).

As perdas de audição definem-se segundo o seu tipo e grau. Segundo definições da Sociedade Otológica Americana, surdo é o indivíduo cuja audição não é funcional na vida comum, e parcialmente surdo é aquele cuja audição, ainda que deficiente, é funcional com ou sem prótese auditiva.

As perdas auditivas podem ser classificadas em grupos separados, segundo o valor da média dos limiares de audibilidade nas frequências de 500, 1000 e 2000 Hz. Segundo critério de DAVIS e SILVERMAN (1970), os níveis de limiares utilizados para caracterizar os graus de severidade da deficiência auditiva podem ter algumas variações entre os diferentes autores conforme Tabela 2.3.

Tabela 2- 3 Grau de surdez

Grau de deficiência	Limiares (dB NA)
Normal	entre 0 e 24 dB nível de audição
Leve	entre 25 e 40 dB nível de audição
Moderada	entre 41 e 70 dB nível de audição
Severa	entre 71 e 90 dB nível de audição
Profunda	acima de 90 dB

Indivíduos com níveis de perda auditiva leve, moderada e severa são mais frequentemente chamados de deficientes auditivos, enquanto os indivíduos com níveis de perda auditiva profunda são chamados surdos. Na Tabela 2.4 é apresentada a classificação da surdez infantil formulada pela Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, V. 68, n. 3, em Maio/2002.

Tabela 2- 4 Grau de surdez infantil

Grau de Surdez Infantil (descrição)	Grau	Perda (dB NA)
Deficiência auditiva ligeira		21 a 40
Deficiência auditiva Moderada	1 ^o	41 a 55
	2 ^o	56 a 70
Deficiência auditiva Severa	1 ^o	71 a 80
	2 ^o	81 a 90
Deficiência auditiva Profunda	1 ^o	91 a 100
	2 ^o	101 a 110
	3 ^o	111 a 120
Deficiência auditiva Total		> 120

Os tipos de surdez, quanto a sua origem, podem ser agrupados em quatro modalidades: condutiva, neurosensorial, mista e central.

A deficiência auditiva condutiva ou de transmissão é qualquer interferência na transmissão do som desde o conduto auditivo externo até a orelha interna (cóclea). A orelha interna tem capacidade de funcionamento normal, mas não é estimulada pela vibração sonora. Esta estimulação poderá ocorrer com o aumento da intensidade do estímulo sonoro. A grande maioria das deficiências auditivas condutivas pode ser corrigida com tratamento clínico ou cirúrgico. Esta deficiência pode ter várias causas, entre elas podem ser citados: Corpos estranhos no conduto auditivo externo, tampões de cera, otite externa e média, má formação congênita do conduto auditivo, inflamação da membrana timpânica, perfuração do tímpano, obstrução da tuba auditiva, etc.

A deficiência auditiva neuro-sensorial ocorre quando há uma impossibilidade de recepção do som por lesão das células ciliadas da cóclea ou do nervo auditivo. Os limiares por condução óssea e por condução aérea, alterados, são aproximadamente iguais. A diferenciação entre as lesões das células ciliadas da cóclea e do nervo auditivo só pode ser feita através de métodos especiais de avaliação auditiva. Este tipo de deficiência auditiva é irreversível. A

deficiência auditiva neuro-sensorial pode ser de origem hereditária como problemas da mãe no pré-natal tais como a rubéola, sífilis, herpes, toxoplasmose, alcoolismo, toxemia, diabetes etc. Também podem ser causada por traumas físicos, prematuridade, baixo peso ao nascimento, trauma de parto, meningite, encefalite, caxumba, sarampo etc.

A deficiência auditiva mista ocorre quando há uma alteração na condução do som até o órgão terminal sensorial associada à lesão do órgão sensorial ou do nervo auditivo. O audiograma mostra geralmente limiares de condução óssea abaixo dos níveis normais, embora com comprometimento menos intenso do que nos limiares de condução aérea.

A deficiência auditiva central não é, necessariamente, acompanhada de diminuição da sensibilidade auditiva, mas manifesta-se por diferentes graus de dificuldade na compreensão das informações sonoras. Decorre de alterações nos mecanismos de processamento da informação sonora no tronco cerebral (Sistema Nervoso Central).

São observados ainda diversos fatores de risco com relação à sensibilidade à perda auditiva por ruído (OLIVEIRA, 1997): (a) deficiência de ferro no organismo facilitava as lesões; (b) ouvido esquerdo – fator lateralidade; (c) uso de antibióticos aminoglicosídeos; (d) prematuridade; (e) fator idade. Entre os fatores de riscos que causam a deficiência auditiva, segundo os critérios do "Joint Committee on Infant Hearing" (1994) e na experiência clínica e científica de profissionais participantes do Fórum de Debates: Criança e Audição, realizado durante o X Encontro Internacional de Audiologia, Bauru, Estado de São Paulo, 8 a 11 de Abril de 1995, estão:

- Antecedentes familiares de deficiência auditiva, levantando-se se há consanguinidade entre os pais e/ou hereditariedade.
- Infecções congênitas suspeitadas ou confirmadas através de exame sorológico e/ou clínico (toxoplasmose, rubéola, citomegalovírus, herpes e sífilis)
- Peso no nascimento inferior a 1500g e/ou crianças pequenas para a idade gestacional (PIG)
- Asfixia severa no nascimento, com Apagar entre 0-4 no primeiro minuto e 0-6 no quinto minuto.
- Hiperbilirrubinemia com índices que indiquem exsanguíneo transfusão.
- Ventilação mecânica por mais de dez dias
- Alterações craniofaciais, incluindo as síndromes que tenham como uma de suas características a deficiência auditiva.
- Meningite, principalmente a bacteriana.

- Uso de drogas ototóxicas por mais de cinco dias.
- Permanência em incubadora por mais de sete dias.
- Alcoolismo ou uso de drogas pelos pais, antes e durante a gestação.

2.3 EDUCAÇÃO DE DEFICIENTES AUDITIVOS

A história da educação de deficientes auditivos não é difícil de ser analisada e compreendida, ela evolui continuamente apesar de vários impactos marcantes. No entanto, vivemos momentos históricos caracterizados por mudanças, turbulências e crises, mas também de surgimento de oportunidades.

Antes de surgirem estas discussões sobre a educação, os sujeitos surdos eram rejeitados pela sociedade e posteriormente eram isolados nos asilos para que pudessem ser protegidos, pois não se acreditava que pudessem ter uma educação em função da sua ‘anormalidade’, ou seja, aquela conduta marcada pela intolerância obscura na visão negativa sobre os surdos vistos como ‘anormais’ ou ‘doentes’. Muitas famílias escondiam seus parentes surdos. Eram pessoas excluídas da sociedade, não tendo direito de votar, casar e herdar propriedades.

Muitos surdos foram excluídos somente porque não falavam, o que mostra que, para os ouvintes, o problema maior não era a surdez propriamente dita, mas sim a falta da fala. Daquela época até hoje, ainda muitos ouvintes confundem a habilidade de falar com a inteligência desta pessoa, embora a palavra “fala” esteja etimologicamente ligada ao verbo/pensamento/ação e não no simples fato de emitir sons articulados (FELIPE, 2007, p. 130).

O evento marcante na história de educação dos surdos foi o Congresso Internacional de Milão em 1880, onde se discutiu a importância dos três métodos utilizados na educação dos surdos (rivais, na época): língua de sinais, oralização e misto (língua de sinais e o oral). Ficou oficialmente proibido o uso de língua de sinais com alegação de que a mesma destruíria a habilidade da oralização das pessoas surdas. A controvérsia entre defensores do método oral e os partidários da linguagem de sinais que se estabeleceu em princípios do século XIX, persiste ainda hoje (Enciclopédia BARSÁ, 1995).

Houveram fracassos na educação de surdos devido à predominância do oralismo puro na forma de ouvintismo, entretanto, em últimos 20 anos começaram perceber que os surdos podem ser educados através da língua dos sinais. A decisão do Congresso de Milão provocou um ‘rombo’ que ocasionou um atraso na educação dos surdos.

A partir de 1960, a língua dos sinais tornou a ressurgir associada à forma oral, com o aparecimento de novas correntes, como a Comunicação Total e, mais recentemente, o Bilinguismo.

Atualmente encontramos cinco modelos educacionais na educação de surdos e presentes em maior ou menor intensidade nas escolas para surdos que são o Oralismo, a Comunicação Total, o Bilinguismo, a Pedagogia do Surdo e processo Intercultural (SKLIAR, 2001).

O oralismo, ou filosofia oralista, usa a integração da criança surda à comunidade de ouvintes, dando-lhe condições de desenvolver a língua oral (no caso do Brasil, o português). O oralismo percebe a surdez como uma deficiência que deve ser minimizada através da estimulação auditiva (GOLDFELD, 1997). Segundo DORZIAT (2000) as técnicas mais utilizadas no modelo oral são as seguintes: treinamento auditivo, desenvolvimento da fala e leitura labial.

O treinamento auditivo para reconhecimento e discriminação de ruídos, sons ambientais e sons da fala, geralmente é feito com treinamento utilizando equipamentos com amplificação sonora individual, que aumenta os sons, possibilitando que o sujeito com surdez parcial consiga escutar. Este aparelho auditivo tem vários tipos de fabricações e de diferentes modelos, o mais tradicional é o colocado atrás da orelha com molde da orelha interna, e é conhecido popularmente como ‘aparelho auditivo’. O desenvolvimento da fala ocorre através de exercícios para a mobilidade e tonicidade dos órgãos envolvidos na fonação, lábios, mandíbula, língua, etc; e também exercícios de respiração e relaxamento. A leitura labial ocorre com treinamento para a identificação da palavra falada através da decodificação dos movimentos orais do emissor. Esta técnica de leitura labial só é útil quando o interlocutor formula as palavras de frente com clareza e devagar. A maioria de surdos só conseguem ler 20% da mensagem através da leitura labial, perdendo a maioria das informações. Geralmente os surdos conseguem construir mensagens de leitura labial pelo contexto (STROBEL, 2006).

Na década de 1960, surgiu a língua dos sinais associada com a oralização. Este modelo misto foi denominado de comunicação total e trouxe o reconhecimento e valorização de língua de sinais que foi muito oprimida e marginalizada por mais de 100 anos. A Comunicação Total foi desenvolvida em meados de 1960, após o fracasso do oralismo puro.

Muitos sujeitos surdos, começaram ponderar em juntar o oralismo com a língua de sinais simultaneamente como uma alternativa de comunicação. A Comunicação Total inclui todo o espectro dos modos linguísticos: gestos criados pelas crianças, língua de sinais, fala, leitura oro-facial, alfabeto manual, leitura e escrita. A Comunicação Total incorpora o desenvolvimento de quaisquer restos de audição para a melhoria das habilidades de fala ou de leitura oro-facial, através de uso constante, por um longo período de tempo, de aparelhos auditivos individuais e/ou sistemas de alta fidelidade para amplificação em grupo (FREMAN *et al*, 1999).

A modalidade Bilíngue é uma proposta de ensino usada por escolas que sugerem a utilização das pessoas surdas de duas línguas no contexto escolar. Na ideologia de bilinguismo as crianças surdas precisam ser postas em contato primeiro com pessoas fluentes na língua de sinais, sejam seus pais, professores ou outros. O Bilinguismo tem como pressuposto básico que o surdo deve ser Bilíngue, ou seja, deve adquirir como língua materna a língua de sinais, que é considerada a língua natural dos surdos e, como segunda língua, a língua oficial de seu país. Os autores ligados ao Bilinguismo percebem o surdo de forma bastante diferente dos autores oralistas e da Comunicação Total. Para os bilinguistas, o surdo não precisa almejar uma vida semelhante ao ouvinte, podendo assumir sua surdez (GOLDFELD, 1997).

Os surdos formam uma minoria cultural não melhor nem pior que outras minorias, apenas diferente. As minorias culturais costumam ser oprimidas e dominadas pelas culturas que exercem maior poder, no entanto, é importante que se destaque que, uma minoria cultural nem sempre é uma minoria quantitativa, pois existem minorias quantitativas que exercem maior poder sobre os sentidos e os significados, seja este poder econômico, de decisão, de enunciação, etc. Os Estudos Culturais, então, inscrevem-se na luta para que todas as culturas venham a ser consideradas na rede social. Para que isto seja possível, uma das áreas de maior conflito/interesse é a área da educação, por seu poder constituidor de subjetividades. Assim, os Estudos Culturais envolvem uma educação multicultural. Neste contexto aparecem uma luta entre grupos culturalmente dominantes e os culturalmente dominados, onde os primeiros buscam, por meio de suas ações, de seus posicionamentos, de seus discursos, estudar os grupos culturalmente dominados e elaborar propostas educacionais a eles dirigidas.

Saindo das modalidades tradicionais de educação de surdos que trabalham com a normalidade ou métodos clínicos ou, que usam outros métodos de regulação, entramos na modalidade da diferença. Fundamentar a educação de surdos nesta teorização cultural contemporânea sobre a identidade e a diferença parece ser o caminho hoje. Esta modalidade

oferece fundamento para a educação dos surdos a partir de uma visão em outra filosofia invariável hoje. A educação dá-se no momento em que o surdo é colocado em contato com sua diferença para que aconteça a subjetivação e as trocas culturais. A modalidade da ‘diferença’ se fundamenta na subjetivação cultural. Ela surge no momento que os surdos atingem sua identidade, através da diferença cultural, e surge no espaço pós-colonial. Neste espaço não mais há a sujeição ao que é do ouvinte, não ocorre mais a hibridação, ocorre à aprendizagem nativa própria do surdo. É uma modalidade querida e sonhada pelo povo surdo, visto que a luta atual dos surdos é pela constituição da subjetividade ao jeito surdo de ser.

Outro ponto importante em que a educação de surdos pode fundamentar-se hoje está no procedimento intercultural que trabalha com as identidades surdas constituídas. Para FLEURI (2000), o que é inovador em educação é o iniciar a focalizar momentos e processos produzidos face às diferenças culturais. Nesta direção, a perspectiva intercultural pode estimular os surdos a enfatizar os aspectos de identidade/alteridade com estímulos para desenvolver a capacidade de reflexão sobre a diferença cultural, ao lado da possibilidade solidária de interação com outros grupos culturais. O procedimento da mediação cultural não rejeita a cultura ouvinte. A cultura ouvinte está aí como cultura, e a metodologia arma estratégias para a posição de diferença, para a afirmação cultural. Neste procedimento o processo inverte a regulação. Não é mais o ouvinte que regula o surdo, não é mais o anômalo, ou o surdo excluído na sua inferioridade. É a cultura surda que regula o surdo em direção a seu ser diferente e a sua defesa diante daquilo que chamamos de práticas discriminatórias que mapeiam populações sobre marcas visíveis e transparentes de poder que as mantêm na subalternidade. É neste sentido que surge o modelo que se segue ao bilinguismo crítico e não tem somente a língua de sinais, como língua de instrução. Em termos de currículo, SILVA (2000) afirma o seguinte: “O outro cultural é sempre um problema, pois coloca permanentemente em cheque nossa própria identidade”. A questão da identidade, da diferença e do outro é um problema social e ao mesmo tempo é um problema pedagógico e curricular. É um problema social porque o encontro com o outro, com o estranho, com o diferente, é inevitável.

O modelo intercultural se sobressai por acabar com as práticas de regulação subjetivada ao modelo ouvinte e por introduzir a questão cultural. É importante dizer que este procedimento está constituído no interior da cultura e da diferença, de forma a favorecer a subjetivação. Nesta perspectiva, a pedagogia e o currículo têm a identidade e a diferença como questões de política.

No Brasil a primeira escola para surdos foi fundada em 1857 pelo professor francês *Hernest Huet*, com o apoio do imperador *D. Pedro II*, fundou o Instituto dos Surdos-Mudos, hoje Instituto Nacional da Educação de Surdos – INES. O nome original da época, “surdo-mudo”, retrata a confusão entre a habilidade de falar e da audição. Ainda hoje, vemos pessoas utilizando este termo por desconhecimento, pois sabemos que a maioria dos surdos não tem nenhum comprometimento de fala, apenas na audição.

A partir de 1993, o INES adquiriu nova personalidade com a mudança de seu Regimento Interno, através de ato ministerial. O Instituto passa a ser um centro nacional de referência na área da surdez. Com esta nova atribuição são realizadas ações que subsidiam todo o país.

Com isso, o INES, presta assessoria técnica nas seguintes áreas: prevenção à surdez, audiologia, fonoaudiologia, orientação familiar, orientação para trabalho e qualificação profissional, artes plásticas, dança, biblioteca infantil, Língua de Sinais, informática educativa, atendimento à múltipla deficiência (sempre aliada à surdez), prevenção às drogas, experiência educacional bilíngüe, ensinos fundamental e médio e ações para a cidadania (palestras sobre temas atuais). Também promove anualmente, Seminário Nacional / Congresso Internacional sobre temas relevantes na área da surdez, além de publicações semestrais de revistas e periódicos de cunho técnico e científico. No Centro de Referência, encontra-se o colégio de aplicação, do INES, onde são atendidos alunos surdos, desde a Educação Infantil até o Ensino Médio. Além de educação formal, os alunos recebem atendimento especializado nas áreas de fonoaudiologia, psicologia e assistência social. Os cursos profissionalizantes e estágios remunerados capacitam os surdos para sua inserção no mercado de trabalho. O Projeto do Centro de Atendimento Alternativo *florecer*, atende alunos matriculados nos segmentos da escolaridade formal do CAP/INES que apresentam dificuldades de aprendizagem e/ou outros comprometimentos, como também a crianças e jovens com múltipla deficiência que vêm em busca de escolaridade. Arte e esporte completam o atendimento diferenciado do INES aos seus alunos.

Atualmente, com o redimensionamento da educação especial, observa-se uma nova concepção e prática diferente que resulta numa modificação da nomenclatura vigente. A educação especial decorre, agora, pelas mesmas vias que a educação regular, constituindo-se em uma modalidade de atendimento que perpassa todos os níveis de ensino. Privilegia-se uma educação inclusiva, através da qual as escolas devem buscar práticas de educar com êxito todas as crianças, inclusive as que tem maiores comprometimentos (portadores de síndromes e deficientes mentais graves).

Deste contexto demanda o termo necessidades educacionais especiais, referindo-se a “todas as crianças ou jovens cujas necessidades se originam em função de deficiências ou dificuldades de aprendizagem” (Unesco, 1994). Faz-se necessário dizer que tais conceitos não estão fechados, as discussões não estão esgotadas, termos tais como, necessidades educativas ou educacionais, especiais ou específicas; ainda se constituem pontos de debates, cabendo a nós participar também deste processo.

As escolas especiais têm sofrido severas críticas, pelo fato de reduzir ou eliminar a oportunidade do convívio do aluno portador de deficiência com sua família, vizinhança e até mesmo com a sociedade. Todavia, é importante ser mencionado que sempre haverá crianças e adolescentes que necessitarão desses atendimentos em escolas especializadas. Já que estas, geralmente, apresentam uma gama de serviços médicos e paramédicos, além dos educacionais propriamente ditos, que não são encontrados nos recursos escolares comuns e que, para muitos alunos são imprescindíveis.

Em função da necessidade destes alunos em socializar-se, foram instalados em escolas comuns, as classes especiais, caracterizadas pelo agrupamento de alunos de acordo com a sua categoria de excepcionalidade, com a responsabilidade de um professor especializado. Estas classes especiais funcionam como auxílio ou como serviço especial, dependendo da forma do atendimento que o mesmo esteja necessitando. Após feito esse processo sentiu-se a necessidade em integrar ou incluir esses alunos em uma classe comum de ensino. Dado a essa necessidade, pensou-se em escola includente, aberta para todos, e de tal qualidade que possibilite a construção individual de todos os alunos.

“Inclusão e participação são essenciais à dignidade humana e aos gozos e exercício dos direitos humanos. No campo da educação, tal se reflete no desenvolvimento de estratégias que procuram proporcionar uma equalização genuína de oportunidades. A experiência em muitos países demonstra que a integração das crianças e dos jovens com necessidades educativas é mais eficazmente alcançada em escolas inclusivas que servem a todas as crianças de uma comunidade” (UNESCO, 1994).

Mesmo com o amplo uso da língua brasileira de sinais (Libras), ainda há grande interesse pela oralidade por parte dos indivíduos surdos. Em MOURA *et al* (1997) é relatado que, em contato com os clubes e associações de surdos de São Paulo, constata-se que os surdos consideram importante à oralidade para suas vidas, e muitos dos integrantes que se destacam nesses locais são surdos que conseguem se expressar por meio da fala. As autoras enfatizam que o uso da língua oral é importante para o trabalho e para a convivência com a sociedade ouvinte.

2.4 PRODUÇÃO DA FALA E PARÂMETROS ASSOCIADOS

A surdez pode provocar no indivíduo um grave bloqueio comunicativo, prejudicando a sua integração com a sociedade. A criança surda sofre dificuldades escolares e o adulto surdo encontra grandes obstáculos ao tentar se inserir no mercado de trabalho. Esses indivíduos necessitam ainda de uma terapia que melhore a qualidade da fala que, em um deficiente auditivo, apresenta algumas características diferentes de um ouvinte em condições normais (COSTA, 2004).

Alguns estudos sobre o tema mostram parâmetros importantes na produção da fala, tais como, velocidade, ritmo, frequência fundamental, intensidade, articulação, respiração, ressonância e inteligibilidade da voz, podem ser afetadas se o indivíduo não possuir uma realimentação auditiva adequada.

O estudo da fala pode ser dividido em três grandes áreas: fisiológica (fonética articulatória), acústica (ou fonética acústica) e perceptiva (KENT *et al*, 1992). A compreensão da fala exige o estudo de cada uma dessas áreas, relacionando-as entre si.

Na Figura 2.5 é apresentado um esquema fisiológico simplificado do sistema vocal, onde o trato vocal é excitado pelo ar expelido dos pulmões por ação de uma força muscular, e modulado pelo sistema massa-mola correspondente às cordas vocais.

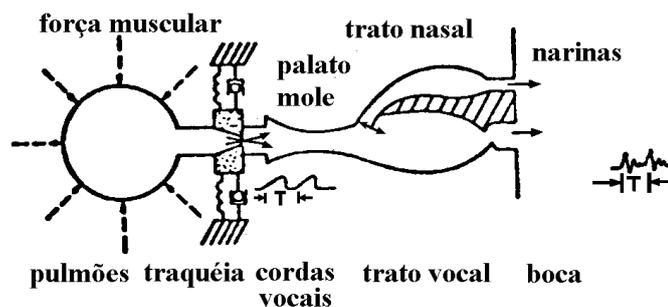


Figura 2- 5 Modelo do trato vocal (RABINER E SCHAFFER, 1978)

O trato nasal começa na úvula e termina nas narinas. Quando a úvula é abaixada, o trato nasal é acusticamente acoplado ao trato vocal para produzir os sons nasais da voz.

O sinal de voz apresenta trechos que se repetem quase periodicamente e trechos basicamente aleatórios, sem nenhuma periodicidade. Este fato pode ser observado nos gráficos da Figura 2.6.

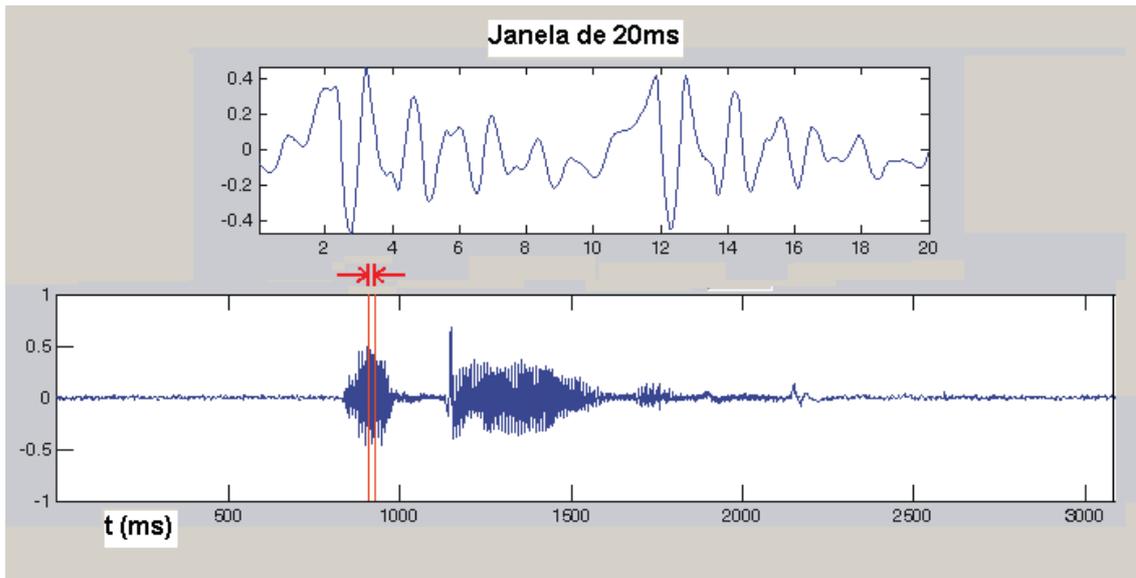


Figura 2- 6 Forma de onda da palavra "Aplausos" e detalhe da janela de 20 ms com a vogal /a/

Os sons da voz podem ser classificados em quatro classes distintas de acordo com o modo de excitação (RABINER e SCHAFER, 1978): sons sonoros, sons surdos, sons explosivos e sons com excitação mista.

Na geração de sons sonoros a vibração das cordas vocais produz um sinal periódico que corresponde à frequência desta vibração. Nos sons sonoros, em virtude das modificações da excitação no trato vocal, são produzidas frequências de ressonância – os formantes – que caracterizarão os diferentes sons sonoros (RABINER e SCHAFER, 1978). Podemos observar na Figura 2.6, o detalhe da forma de onda da vogal /a/ na palavra “aplausos”, como exemplo típico de um som sonoro.

Os sons surdos se caracterizam pela característica ruidosa e de baixa energia. Nestes, são produzidas uma constrição em algum ponto do trato vocal (usualmente próximo ao final da boca). Assim, o ar adquire velocidade suficientemente alta para produzir turbulência atuando como uma fonte de ruído, não havendo vibração das cordas vocais (RABINER e SCHAFER, 1978). A Figura 2.7 ilustra o detalhe da forma de produção do fonema /s/ na palavra “palmeiras”.

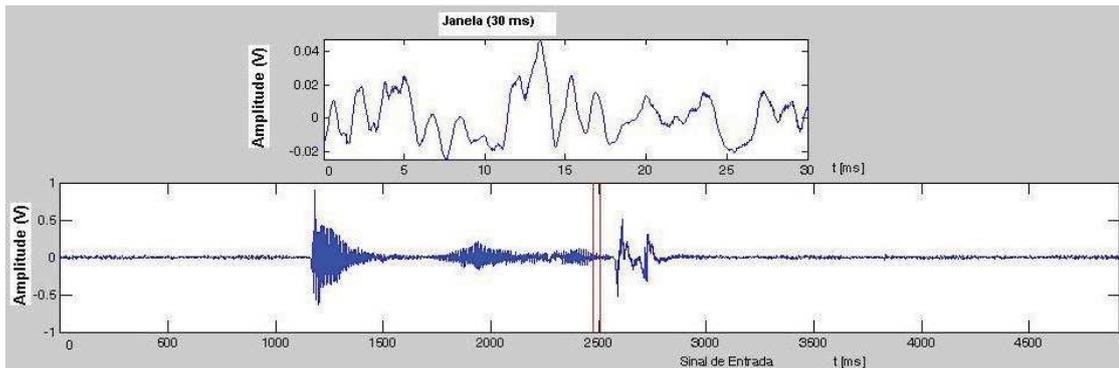


Figura 2- 7 Forma de onda do fonema /s/ na palavra “palmeiras”

Os sinais que identificam os sons explosivos são caracterizados por uma súbita explosão de energia, proporcionados por uma súbita abertura da glote. Na geração dos sons explosivos (ou plosivos), o ar é totalmente dirigido à boca, estando esta completamente fechada. Com o aumento da pressão, a oclusão é rompida bruscamente, gerando um pulso que excita o aparelho fonador. A consoante /p/ da Figura 2.7 representa o som explosivo.

Os sons de excitação mista são formados por uma combinação de sons sonoros, surdos e explosivos.

Os fricativos sonoros como /j/, /v/, /z/, são produzidos combinando-se a vibração das cordas vocais e a excitação turbulenta. Nos períodos em que a pressão glótica atinge um valor máximo, o escoamento através da obstrução torna-se turbulento, gerando o caráter fricativo do som; quando a pressão glótica cai abaixo de certo valor, termina o escoamento de ar e as ondas de pressão apresentam um comportamento mais suave (RABINER e SCHAFER, 1978). Nas Figuras 2.8 e 2.9 podem ser vistos a forma de onda da palavra “viajar” e os fonemas fricativos sonoros /v/ e /j/.

Os sons oclusivos (ou explosivos, sonoros), como /d/ e /b/, são produzidos de forma semelhante aos correspondentes explosivos, /p/ e /t/, porém, existe vibração das cordas vocais durante a fase de oclusão da cavidade oral. Na Figura 2.10 pode ser visto a forma de onda do fonema explosivo sonoro /b/ em bola.

Na Figura 2.8 pode-se observar que, além dos sons provenientes das vogais e consoantes, se tem também períodos de silêncio. Normalmente é difícil distinguir, um fraco som surdo do segmento de silêncio.

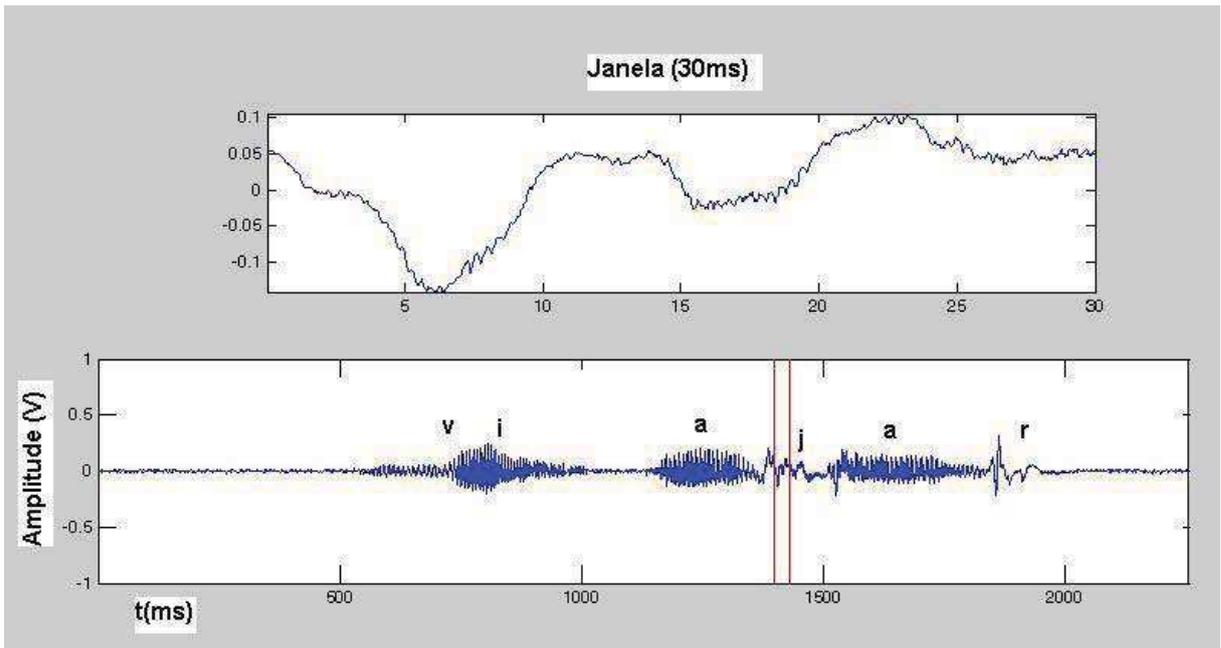


Figura 2- 8 Forma de onda do fonema /j/ da palavra "viajar"

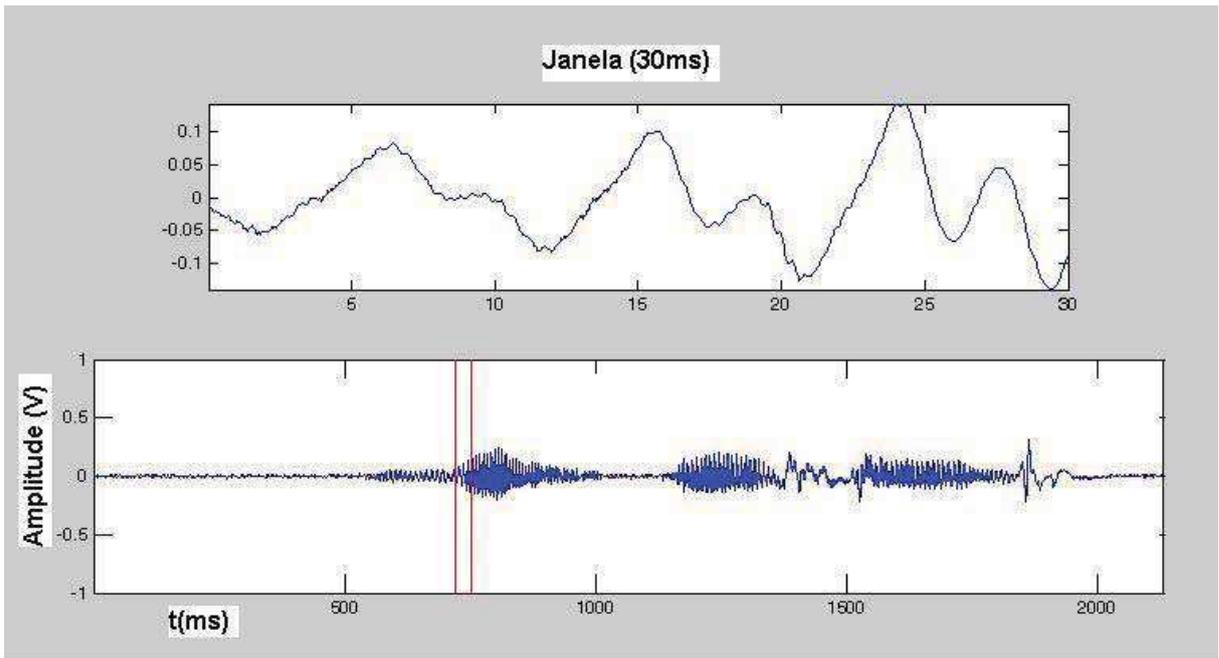


Figura 2- 9 Forma de onda do fonema /v/ na palavra "viajar"

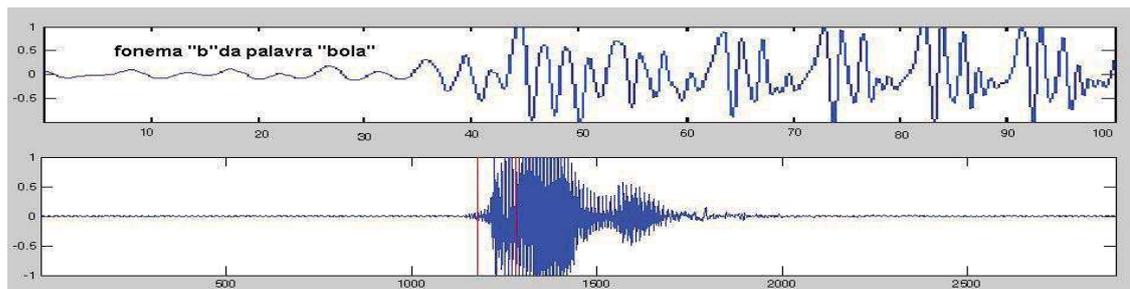


Figura 2- 10 Fonema /b/ da palavra "bola"

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SONS

Quanto à faixa de frequências, os sons das frequências menores que 20 Hz são denominados de infra-som e os maiores que 20.000 Hz, ultra-som. Os sons fora dessa faixa chegam aos nossos ouvidos, mas não são capazes de estimular o nosso sentido da audição. Alguns animais, como o cachorro, golfinhos e o morcego, conseguem captar frequências de até 100.000 Hz. Outros, como o elefante e o pombo-correio, são capazes de perceber infra-sons. A faixa de frequência das ondas sonoras corresponde ao que se denomina faixa de áudio e define os limiares inferiores e superiores de audição. Por outro lado, a voz humana corresponde uma faixa de frequência normalmente menor que vai de 80 Hz a 5 kHz, embora nosso ouvido consiga escutar na faixa de 20 Hz até no máximo, 20 kHz. A linha telefônica tem uma banda de passagem de 200 a 3400 Hz, estando dentro da faixa de frequência inteligível da voz humana.

A percepção do som pelo ouvido humano tem limites e não corresponde fielmente aos fenômenos físicos que lhe dão origem. Esta percepção é influenciada pelos seguintes fatores: intensidade, altura, timbre e duração. Na Seção 2.2 foram abordados estes fatores. Neste tópico será dada uma atenção complementar a intensidade e a frequência do sinal de voz emitido pelo falante.

Nos estudos que medem o nível de intensidade sonora e sonoridade vocal não existe consenso sobre o que é forte e fraco, ou quanto representa em dB uma emissão muito forte ou um sussurro. A Tabela 2.5 apresenta a tabela ISO 9921-2 (1996), que estabelece os níveis de pressão sonora esperados em situações de comunicação entre falantes com audição normal em função da distância.

A frequência fundamental de um sinal da voz é um valor que está diretamente associado à taxa de vibração das cordas vocais, e está relacionada ao sexo e à idade do indivíduo, e presente apenas nas formas de ondas dos sinais sonoros. Esta característica nos permite classificar o som emitido pelo indivíduo em mais grave ou mais agudo. Geralmente, os homens têm vozes mais graves e as mulheres vozes mais agudas, popularmente chamadas de voz grossa e fina, respectivamente. Um som com baixa frequência fundamental é dito som grave e o som com alta frequência é dito som agudo. Na linguagem técnica ou musical dizemos que o som grave é baixo e o agudo é alto. No cotidiano, os termos altos e baixos referem à intensidade do som e são aplicados erroneamente.

Tabela 2- 5 Esforço vocal para falantes (em dB SL). ISO 9921-2, 1996

Esforço Vocal	100 cm	30cm
Máximo	90	100
Grito	81	91
Muito forte	78	88
Forte	72	82
Moderado	66	76
Normal	60	70
Relaxado	54	64

O pitch é um conceito meramente subjetivo, e diz respeito à sensação de altura (grave/agudo): quanto maior for a frequência fundamental, maior será o pitch ou, equivalentemente, mais agudo será o sinal. O conceito de pitch está intimamente associado ao de frequência fundamental e nas pesquisas sobre síntese e reconhecimento de fala, os dois termos costumam ser utilizados de forma equivalente. Um modo subjetivo de identificar o pitch é variar a frequência do sinal senoidal e compará-la a uma frequência fundamental de um trecho de voz. O valor da frequência fundamental é estimado por meio da estimação do pitch. Na bibliografia consultada é comum referir-se ao termo “detectores de pitch” enquanto se procura a estimação da frequência fundamental da voz. A extração do valor do pitch, também conhecido como estimação da frequência fundamental da voz, tem sido objeto de investigação ao longo de décadas e não é ainda um estudo conclusivo, considerando, principalmente, a qualidade da estimação e a complexidade computacional (GERHARD, 2003).

Na produção dos sons sonoros, a excitação periódica ao propagar-se pelas diferentes cavidades acústicas é modelada pelas ressonâncias destas cavidades, conforme ilustrado na Figura 2.5, de forma similar ao que acontece em instrumentos musicais de sopro. Estas ressonâncias da cavidade vocal são denominadas por frequências de formantes ou simplesmente formantes, com valores dependentes da forma e propriedades do trato vocal. São usualmente anotados como F1, F2, F3, etc; nesta ordem crescente de frequência. A frequência fundamental recebe a denotação de F0, e é conhecida como primeiro harmônico. O

número de formantes é infinito, mas os três primeiros são os mais importantes, suficientes para oferecer a identidade de uma vogal e não é comum ir-se além do terceiro formante (F3) na análise espectrográfica. São principalmente as frequências de F1 e F2 que determinam a qualidade de uma vogal em termos acústicos e sua identidade em termos auditivos. Na Figura 2.11 estão ilustradas as médias das frequências dos três primeiros formantes (F1, F2 e F3) das vogais orais do português brasileiro para a população de 90 falantes analisados em RUSSO E BEHLAU (1993), na faixa de frequência da linha telefônica.

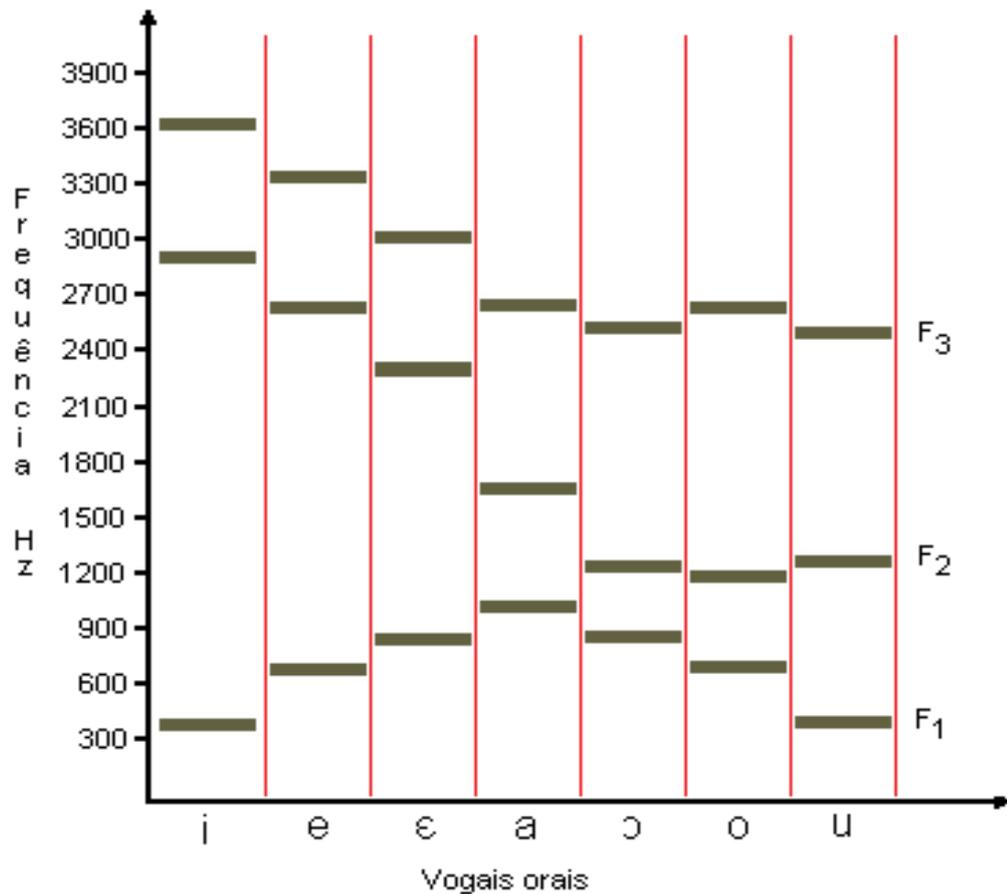


Figura 2- 11 Primeiros formantes : F1, F2 e F3 das vogais orais do português brasileiro

2.6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ

Não existe um conceito de voz normal, mas sabe-se que esta deve ser uma emissão agradável, sem esforços, e que se enquadre aos interesses sociais, pessoais e profissionais do falante. Define-se com disfonia, a qualquer alteração na emissão vocal, e que seja percebida pelo próprio falante ou ouvinte. As difonias podem ser divididas em: funcional, organofuncional e orgânica (BEHLAU, 2005). As disfonias funcionais são geradas por comportamento vocal inadequado. As organofuncionais, geralmente, são aquelas disfonias funcionais diagnosticadas tardiamente e, por isso, apresentam lesão secundária. Já as difonias orgânicas independem do uso da voz e, geralmente, apresentam qualidade vocal bastante alterada.

O Comitê de Foniatria da Sociedade Europeia de Laringologia sugere a utilização de um protocolo multidimensional, que inclua avaliação perceptivo-auditiva, videoestroboscópica, acústica, aerodinâmica e avaliação da auto-percepção da alteração vocal (DEJONCKERE *et al*, 2001).

A avaliação perceptivo-auditiva, embora subjetiva, é ainda a mais importante na prática clínica, porque leva em consideração não só os aspectos auditivos, mas também prosódicos sociais e emocionais do falante (BEHLAU, 2001).

Quando se fala em avaliação da qualidade da voz são encontradas algumas linhas de pesquisas distintas: (a) avaliação de voz para sistemas de comunicações, celulares, voz sobre IP (Voip) e TV; (b) avaliação de qualidade de voz voltada para terapia fonoaudióloga com foco em reabilitação de pessoas com dificuldade de fonação e oralização de deficientes auditivos; (c) voz patológica; (d) ferramentas de software para reconhecimento da fala, etc.

O desenvolvimento rápido das tecnologias em sistemas de comunicações, empurrado pelos interesses financeiros das grandes empresas do ramo e a necessidade de definições de padrões resultou na elaboração de alguns métodos objetivos e subjetivos de avaliação da qualidade da voz, pelos Comitês Internacionais do Setor. De uma maneira geral, os métodos para avaliação de voz podem ser agrupados em métodos objetivos e subjetivos.

2.5.1 Métodos Objetivos

Os métodos objetivos são baseados na análise acústica do sinal de voz e em exames laringoscópicos para diagnósticos clínicos. São adotadas comparações do comportamento de várias medidas acústicas do sinal de voz em relação a uma voz de referência, compatível com a idade e sexo da pessoa. As medidas objetivas acústicas podem ser classificadas em 3 diferentes classes: medidas temporais, análise temporal da forma de onda e medidas espectrais.

A análise de medidas acústicas requer, entretanto, o conhecimento do sinal acústico e de sua estrutura, os quais podem revelar a qualidade e funcionamento do aparelho fonador (TERNSTROM, 2005). Esta análise depende, ainda, do tipo de amostra utilizada: vogal sustentada ou amostra de fala contínua. As vogais sustentadas são amplamente utilizadas em estudos da qualidade vocal, embora a fala contínua seja mais natural e próxima à realidade vocal. Por outro lado, a utilização de amostra contínua de fala inclui outros fatores – dialeto, prosódia e articulação – que dificultam a análise da qualidade vocal (KROM, 1995).

As medidas acústicas objetivas mais utilizadas são: frequência fundamental, Jitter (indica a perturbação da frequência fundamental a curto prazo), Shimmer (indica a variabilidade da amplitude a curto prazo), relação sinal-ruído (SNR), Harmonics-to-Noise Ratio - HNR (Índice que relaciona a componente harmônica versus a componente de ruído da onda acústica), Normalized Noise Energy – NNE (Mede o ruído da onda sonora ao nível da glote), perfil de extensão vocal (fonetogramas) e espectrografia acústica (espectrogramas e espectro médio de longo termo – LTAS).

Os métodos objetivos caracterizam-se por utilizar expressões matemáticas que podem ser representadas em algoritmos de computadores, fornecendo resultados numéricos. Entretanto para se trabalhar com métodos objetivos são necessários equipamentos eletrônicos de precisão e possuir um excelente isolamento acústico durante a gravação da voz em observação. Em muitos casos, também é desejável trabalhar com banco de vozes padrões.

2.5.2 Métodos Subjetivos

A análise da qualidade da voz envolve fatores que são difíceis de serem ponderados em medidas objetivas, como, por exemplo, o incômodo que uma determinada distorção ou ruído causam, e a inteligibilidade de um sinal.

O conceito de qualidade de voz varia de acordo com a aplicação pretendida e com o público alvo, que pode ser mais ou menos exigente, dependendo de suas características culturais. Portanto, as medidas subjetivas são utilizadas, especialmente em casos em que há a necessidade de resultados realmente confiáveis. Entretanto, as medidas subjetivas possuem maior custo, maior complexidade e demanda mais tempo para a realização de medidas objetivas que estimem a qualidade subjetiva de forma eficiente.

Desta forma, mesmo com o avanço tecnológico propiciando medidas acústicas mais precisas, os métodos subjetivos ainda continuam sendo os mais confiáveis. Os métodos subjetivos são realizados por um grupo de pessoas (LAKANIEMI, 2001). Na primeira fase é feita a gravação do sinal e depois ocorre a avaliação pelas pessoas em diferentes condições. Os métodos ou testes subjetivos se caracterizam pela forma de sua aplicação e pela forma de escolha do grupo de avaliadores. Estes testes, geralmente, são aplicados em sala especial com controle de ruído de fundo e fatores ambientais. Estes testes são mais caros e trabalhosos porque a exatidão dos resultados é dependente da quantidade de avaliadores.

Os testes subjetivos, em telefonia, podem ser divididos em três grupos: os de entrevistas, os conversacionais e os de audição (RANGO *et al*, 2006).

Os testes de entrevista são realizados através de questionários aplicados aos avaliadores sobre a qualidade de voz do indivíduo, previamente gravada. Quanto maior a quantidade de questionários maior a exatidão dos resultados.

Os testes conversacionais envolvem duas pessoas que tenham sido especificamente treinadas, uma falando e a outra ouvindo (teste bidirecional), de acordo com alguma metodologia a ser adotada.

Os testes de audição são unidirecionais e a avaliação da qualidade da voz envolve uma escala de referência, a partir de sentenças simples. Os testes de referência mais conhecidos são: ACR (*Absolute Category Rating*), DCR (*Degradation Category Rating*) e CCR (*Comparison Category Rating*).

2.5.2.1 Testes de qualidade absoluta (Absolute Category Rating – ACR)

Nos testes de qualidade absoluta (ACR) o avaliador não dispõe de material para comparação. A avaliação é realizada baseada somente na amostra de voz em análise, sem qualquer objeto de comparação. Estes testes podem utilizar três escalas de opiniões: Qualidade de audição, esforço de audição e preferência de sonoridade. As Tabelas 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram estes testes. Os resultados, valores numéricos, representam o escore de opinião média subjetiva – MOS (ITU-T, 1996).

Tabela 2- 6 Escala de qualidade de audição

Qualidade de voz	Pontos
Excelente	5
Boa	4
Razoável	3
Pobre	2
Ruim	1

Tabela 2- 7 Escala de sonoridade para compreensão

Esforço requerido para a compreensão do significado das sentenças	Pontos
Relaxamento completo possível, nenhum esforço requerido	5
Atenção necessária, pouco esforço requerido	4
Esforço moderado requerido	3
Considerável esforço requerido	2
Nenhum significado é reconhecido, qualquer que seja o esforço	1

A pontuação em MOS é produzida subjetivamente por um grande grupo de usuários, a qual cada usuário expõe sua opinião sobre a qualidade da voz. A partir destes resultados, é calculada a média desta pontuação (escores).

Tabela 2- 8 Escala de preferência de sonoridade

Preferência de sonoridade	Pontos
Muito mais alto que o ideal	5
Mais alto que o ideal	4
Ideal	3
Mais baixo que o ideal	2
Muito mais baixo que o ideal	1

2.5.2.2 Testes de degradação (*Degradation Category Rating - DCR*)

Os testes de degradação (DRC) são recomendados quando se trata de uma excelente qualidade de voz e os resultados do teste de ACR tornam-se inadequados. Neste teste são comparadas as amostras em testes com amostras padrões. Os resultados são colocados em uma escala numérica de degradação e resumidos em um escore de opinião média subjetiva (MOS). A Tabela 2.9 ilustra um modelo de teste DCR.

Tabela 2- 9 Escala de degradação

Nível de degradação	Pontos
Inaudível	5
Audível, mais incômoda	4
Incomoda um pouco	3
Incomoda	2
Incomoda muito	1

2.5.2.3 Testes de Comparação (*Comparison Category Rating - CCR*)

Os testes de comparação são similares aos DCRs. O que diferencia é o tipo de uso das amostras. No DCR a amostra de referencia é a primeira apresentada, seguida da amostra em avaliação. No CCR esta ordem é aleatória e o avaliador não sabe disso. Além disso, no

CCR o avaliador tem que responder qual sinal é melhor e o quanto é melhor. A Tabela 2.10 apresenta um exemplo de escala para uso do teste CCR.

Tabela 2- 10 Teste de comparação entre elementos de um par: antes e depois

Comparação entre os sinais	Pontos
Muito melhor	3
Melhor	2
Ligeiramente melhor	1
Aproximadamente igual	0
Ligeiramente pior	-1
Pior	-2
Muito pior	-3

As escalas de degradação e de comparação entre elementos de um par, usando os métodos de classificação DCR e CCR, utilizam a média aritmética denominada “*Comparative Mean Opinion Score – CMOS*” (ITU-T, 1996).

2.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ DE SURDOS

A voz é produzida a partir de um som gerado na laringe é formado pela frequência fundamental da onda sonora e seus harmônicos. Por meio do fenômeno de ressonância, esse som é modificado durante o percurso pelo trato vocal (BEHLAU e RUSSO, 1993).

A perturbação da frequência fundamental, conhecida como *jitter* e a variabilidade da amplitude da onda sonora, conhecida como *shimmer*, constituem parâmetros fundamentais para avaliação objetiva da qualidade da voz (BEHLAU, 2005),

O tempo máximo de fonação é um parâmetro objetivo muito utilizado no processo avaliativo durante a evolução terapêutica. O valor dessa medida é obtido pelo tempo máximo que um indivíduo sustenta, numa única expiração, a emissão de um som ou de fala encadeada (BEHLAU *et al.*, 2005).

Em ARAÚJO e LIMA (1999); BOMMARITO (2000); GIUSTI (2000) e BOMMARITO e BEHLAU (2001) foi relatado que os tempos de fonação produzidos por indivíduos surdos encontram-se abaixo dos valores considerados normais na literatura.

A avaliação perceptivoauditiva representa um dos procedimentos subjetivos mais utilizados na clínica fonoaudiológica. Por meio dessa avaliação, podem-se analisar tipos de voz, sistema de ressonância, características da emissão, articulação e pronúncia, ritmo e velocidade de fala, além da resistência vocal, *pitch* (sensação psicoacústica de frequência) e *loudness* que é a sensação psicoacústica de intensidade (BEHLAU *et al*, 1997).

A qualidade da voz e fala do surdo está relacionada à idade em que o indivíduo ficou surdo, ao grau da perda auditiva, ao tipo e à adequação da amplificação auditiva utilizada, e ao tratamento fonoaudiológico realizado (ANDREWS, 1995; RAMOS, 2000; BOMMARITO e BEHLAU, 2001 e WIRZ, 2001).

BOMMARITO e BEHLAU (2001), realizaram um estudo com 30 indivíduos portadores de deficiência auditiva de grau moderado a profundo, na faixa etária de 14 a 55 anos. Os sujeitos emitem as vogais sustentadas /a/, /i/, /u/ e fazem a contagem de números de 1 a 30 e, a seguir, é feita uma análise perceptivo-auditiva. Também foram realizadas medidas dos tempos máximos de fonação. Por meio da análise perceptivo-auditiva pode-se verificar que apenas 36,84% dos sujeitos do sexo masculino e 27,27% do sexo feminino fizeram muda vocal e as medidas dos tempos máximos de fonação encontram-se inferiores em ambos os sexos, quando comparadas às da normalidade. A muda vocal, que é o crescimento do trato vocal juntamente com o crescimento do resto do corpo, ocorre no homem por volta dos 13 aos 15 anos, e nas mulheres ocorre por volta dos 12 aos 14 anos. Neste estudo, em relação à frequência fundamental, a média dos indivíduos surdos do sexo masculino é de sons mais agudos do que nos indivíduos ouvintes e, nos sujeitos do sexo feminino, mais grave. No trabalho é relatado ainda que os sujeitos apresentam dificuldades na produção dos fonemas fricativos /s/ e /z/.

WIRZ (2001) realizou uma pesquisa com 40 sujeitos portadores de surdez profunda, na faixa etária de 18 a 23 anos, alunos do terceiro grau. Os sujeitos fizeram uma leitura (*Rainbow Passage*) para posterior análise da fala. Constatou-se que os surdos apresentam amplitude dos movimentos articulatórios acentuadamente diferentes da dos falantes normais. Em relação ao *pitch* e *loudness* há diferença altamente significativa entre os surdos e os ouvintes. Em relação aos fatores laríngeos, 72,5% dos surdos apresentam voz áspera, quando comparados a 25 % dos falantes ouvintes. Dos falantes surdos, 20% usam voz em falsete, o que não acontece em nenhum ouvinte. Tanto a aspereza quanto o falsete são desempenhos laríngeos altamente cinestésicos e é possível que a alta incidência entre os falantes surdos esteja relacionada a esse fato.

BRESTOVCI e BOLFAN-STOSIC (1998) apresentaram um estudo com 24 sujeitos do sexo masculino, na faixa etária de 10 a 12 anos, divididos em dois grupos, sendo 12 sujeitos com deficiência auditiva e 12 sujeitos com audição normal, caracterizando, assim, o grupo controle. Por meio de análise acústica pode-se constatar que os surdos apresentam elevação da frequência fundamental, inadequação da entonação e da produção do fonema /z/.

Em LOPES (2008) foi avaliado as mudanças na voz e na fala de surdos após a aplicação de um procedimento terapêutico que utiliza um trabalho oral com realimentação visual, estudando 18 indivíduos surdos, com idades entre 12 e 17 anos que realizaram 16 sessões de terapia fonoaudiológica. Como resultado, foram encontrados valores de frequência fundamental e tempos de fonação próximos ao esperado para sujeitos com audição normal e melhora da inteligibilidade da fala e do controle do *pitch*. A autora afirma que esses achados mostraram que o trabalho com surdos deve abranger a parte vocal, pois esta proporciona melhora na voz e na fala.

BORGES (1998) analisou um material com a fala de seis crianças do sexo feminino, com idade entre nove e onze anos, portadoras de perda auditiva neurosensorial severo-profunda, adquirida antes da aquisição da linguagem. Participaram desta análise três avaliadoras fonoaudiólogas com tempo mínimo de cinco anos de formação. O roteiro de avaliação usado é o proposto por Pinho (1990). Após aproximadamente 12 meses, as mesmas ouvem novamente o material gravado e seguem a proposta indicada pelo Instituto Técnico Nacional de Rochester. A autora aponta que a deficiência auditiva resulta em uma limitação para o indivíduo relacionada à experiência social, ao comportamento emocional, ao progresso educacional e à linguagem, o que altera a fala quanto ao ritmo, voz e entonação.

Franco (1998) fez um levantamento das características vocais em 89 indivíduos surdos matriculados no primeiro grau do Instituto Educacional São Paulo (IESP), da Divisão de Educação e Reabilitação dos Distúrbios da Comunicação (DERDIC) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Utiliza a avaliação vocal indicada pelo Instituto Técnico Nacional para Surdos de Rochester, que avalia inteligibilidade, registro do *pitch*, controle do *pitch*, duração, controle da expiração de ar, fatores prosódicos, identificação e classificação das qualidades vocais. 34% dos sujeitos apresentam qualidade vocal tensa, 23,6% sopro, 23,6% faríngea, 16,7% nasal e 1,1% normal. A fala dos sujeitos é muito difícil de ser entendida em 53,9 % dos sujeitos; com moderada dificuldade em 24,7%, e praticamente inteligível em 21,4% dos sujeitos. A autora argumenta que, além da perda auditiva, a tensão cotidiana em que vivem esses indivíduos são fatores que explicam os resultados encontrados.

2.8 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados aspectos e conceitos relevantes sobre a percepção auditiva e a oralização de surdos, apresentando-se inicialmente algumas considerações sobre a importância de se desenvolver uma ferramenta para auxílio à melhoria da fala de pessoas surdas, em processo de oralização, utilizando realimentação tátil, discutindo-se outras aplicações. Em seguida, foi feita uma revisão bibliográfica sobre o mecanismo de audição humano, a deficiência auditiva, a educação para deficientes auditivos e a produção da fala. Por último, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre avaliação da qualidade da voz, e um tópico específico sobre revisão de trabalhos com foco na avaliação da qualidade da voz em deficientes auditivos. No capítulo seguinte será apresentada uma revisão bibliográfica sobre dispositivos táteis.

3

Codificação da Voz em Estimulação Tátil

3 – CODIFICAÇÃO DA VOZ EM ESTIMULAÇÃO TÁTIL

A utilização do tato é uma alternativa sensorial na ausência da visão, audição ou propriocepção (sensibilidade própria aos ossos, músculos, tendão, musculação, tendão e articulação desenvolvendo a capacidade de identificar e localizar cada músculo do corpo). A sua utilização também pode representar vantagens com relação à utilização dos outros sentidos, à medida que permite a liberação destes para outras tarefas. Há uma flexibilidade quanto à sua utilização pela possibilidade de construção de estimuladores pequenos, leves e com boa apresentação estética. Além disso, o tato é o único sentido a combinar as dimensões espaciais e temporais em um só canal sensorial, e raramente vai estar ocupado, ao contrário da visão e da audição.

Os limiares táteis podem ser aferidos pela posição no corpo, pela frequência de vibração, pela pressão, pela duração do estímulo e pela intensidade. Colocando-se pesos iguais sobre a mão, levemente apoiada, e aumentando-se o peso em uma das mãos, até que o indivíduo consiga diferenciar os pesos, encontra-se o limiar diferencial da sensação de pesos sobre a mão (AIRES, 1991).

3.1 ESTIMULADORES TÁTEIS COMO UMA ALTERNATIVA SENSORIAL

Diversas técnicas podem ser utilizadas para fazer uso da sensação tátil, pois tanto estímulos elétricos quanto mecânicos, térmicos ou químicos podem ser percebidos pelos receptores, seus periféricos e as fibras nervosas aferentes. Devido às limitações de ordem prática, somente os dois primeiros têm sido empregados em sistemas de substituição ou ampliação sensorial (NOHAMA, 1997). A resolução para a sensibilidade tátil pode ser definida como a mínima separação necessária entre dois pontos de estimulação para que estímulos simultâneos sejam distinguidos de um único estímulo. A discriminação tátil de dois pontos varia na superfície do corpo para que forneça informações sobre estática, equilíbrio e deslocamento do corpo no espaço. Esta discriminação é de aproximadamente 2 mm, nas pontas dos dedos à cerca de 60 mm no dorso (SCHMIDT, 1980).

A utilização do tato como substituto de outros sentidos tem as primeiras referências registradas nos trabalhos de DALGARMO, e ROSSEAU, no período do Renascimento, entre 1680 e 1762, respectivamente (GELDARD *et al*, 1977; SHERRICK, 1984). No entanto, foi no início do século XX que houve um aumento das pesquisas nesta área devido ao desenvolvimento da eletrônica e dos estudos da psicofísica.

A psicofísica é o campo da psicologia experimental que utiliza métodos comportamentais para determinar as relações entre o mundo físico e a experiência subjetiva das pessoas. Os pesquisadores desta área realizam experimentos científicos idealizados para possibilitar a determinação de qual parâmetro físico se relaciona a uma dimensão subjetiva perceptual específica.

Para um sistema tátil, os métodos psicofísicos permitem que se responda à seguinte questão: como e com que qualidade as pessoas sentem variações temporais, espaciais e de intensidade em estímulos mecânicos (e térmicos) aplicados na pele (sistema cutâneo) e nos músculos, tendões e articulações? Como exemplo, os estudos da psicofísica podem resultar na determinação da intensidade mínima necessária para que se perceba a presença de vibração, ou o menor espaço entre dois pontos de estimulação.

Os resultados da psicofísica podem ser usados na definição dos parâmetros apropriados e a faixa de variação adequada em um sistema tátil. A psicofísica pode subsidiar o desenvolvimento de sistemas táteis solucionando questões como: Qual o tipo de estímulo deve-se utilizar? Quais os locais do corpo que são mais apropriados? Qual a forma otimizada para apresentar a informação? Como a influência do ambiente, sexo, idade e treinamento afetam a percepção aos estímulos aplicados?

Os primeiros trabalhos formais para desenvolver um codificador de voz tátil datam das tentativas de GAULT(1924) que primeiro aplicou na pele sinais vibratórios derivados de sinais de voz via um microfone, com uso de amplificador e vibrador. Seguindo estes esforços iniciais, numerosas pesquisas ocorreram, e foram levantados os atributos sensoriais principais da estimulação vibro-tátil, os quais passaremos a descrever. Os atributos sensoriais de interesse dividem-se em parâmetros temporais, espaciais, e subjetivos.

3.2 AS CAMADAS DA PELE E O SENTIDO DO TATO

A pele é o maior órgão do corpo humano, chegando a medir 2 m² e pesar 4 kg em um adulto. É constituída por duas camadas distintas, firmemente unidas entre si: (a) a epiderme (mais externa, formada por tecido epitelial); (b) a derme (mais interna formada por tecido conjuntivo).

Uma vez que toda a superfície cutânea é provida de terminações nervosas capazes de captar estímulos térmicos e mecânicos, a pele também é o maior órgão sensorial que possuímos. Essas terminações nervosas ou receptoras cutâneas são especializadas na recepção de estímulos específicos. Não obstante, alguns podem captar estímulos de natureza distinta. Cada receptor tem um axônio e, com exceção das terminações nervosas livres, todos eles estão associados a tecidos não-neurais. Na Figura 3.1 pode ser visto com detalhes todos os órgãos que constituem a captação da sensibilidade do tato.

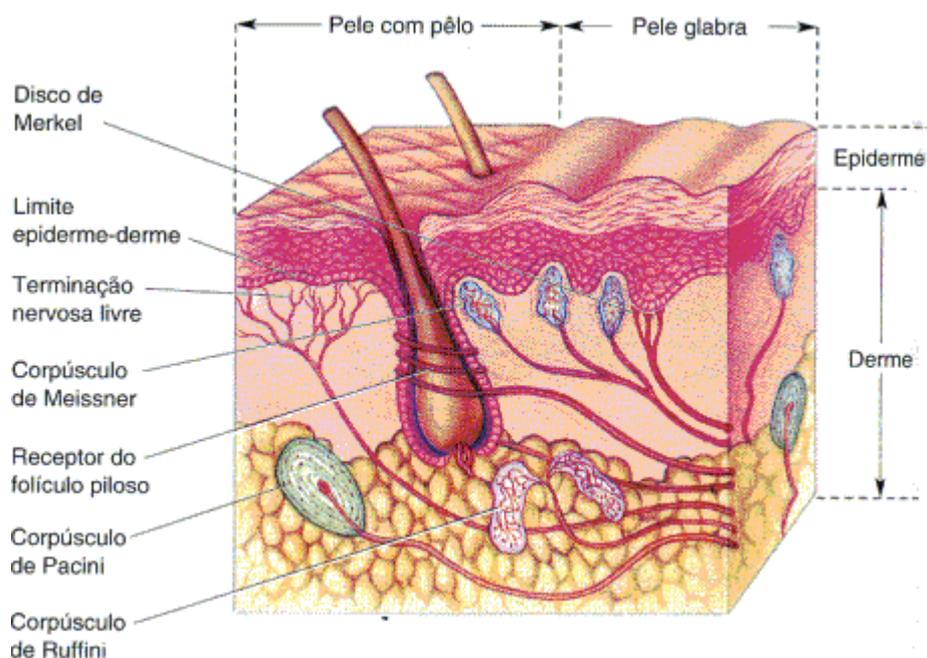


Figura 3- 1 Detalhe da captação do estímulo tátil (BEAR, M.F. & CONNORS, B.W., 2002)

Nas regiões da pele providas de pelo, existem terminações nervosas específicas nos folículos capilares e também outras chamadas terminais ou receptores de Ruffini. As primeiras, formadas por axônios que envolvem o folículo piloso, captam as forças mecânicas

aplicadas contra o pêlo. Os terminais de Ruffini, com sua forma ramificada, são receptores térmicos de calor. A Tabela 3.1 ilustra a função de cada receptor de superfície das camadas da pele em relação à sensibilidade tátil de cada pessoa.

Tabela 3- 1 Função de cada receptor das camadas da pele

Receptores de Superfície	Sensibilidade Percebida
Receptores de Krause	Frio
Receptores de Ruffini	Calor
Discos de Merkel	Tato e pressão
Receptores de Vater-Pacini	Pressão
Receptores de Meissner	Tato
Terminações nervosas livres	Principalmente dor

3.3 PARÂMETROS VIBRO-TÁTEIS DE PERCEPÇÃO

Para utilizar os dispositivos vibro-táteis é necessário compreender os parâmetros de vibração para ser trabalhados na codificação do sinal para estimulação tátil. Os parâmetros principais de vibração são: intensidade, frequência, duração da forma de onda, ritmo (teste padrão temporal) e a posição espacial (GELDARD, 1960).

3.3.1 Intensidade

O termo intensidade refere-se à energia de vibração. É definido como o somatório do quadrado da amplitude de vibração. Entretanto, os termos intensidade e amplitude são usados indistintamente ao serem referidos quanto a força do estímulo tátil. Um aumento na amplitude conduz a um aumento na intensidade ou vice-versa. A intensidade vibro-tátil é expressa em termos de decibéis, como é o caso da intensidade sonora. Os níveis de decibel são referenciados aos termos de uma relação ao ponto inicial da detecção, por exemplo, 28 dB SL(*Start Level* – nível inicial) refere a 28 dB acima do ponto inicial, ou sensação de nível SL. Este ponto inicial de partida é dependente de várias variáveis, incluindo a pessoa, o atuador usado (em particular, o tamanho do contato do dispositivo que vibra de encontro à pele e a presença ou a ausência de uma bordadura rígida), a frequência da vibração e a posição da

estimulação. O ponto inicial de sensibilidade tátil varia em função da frequência do sinal e da área de contato, conforme ilustrado na Figura 3.2. Observe no gráfico que para áreas de contatos menores ($< 0,02 \text{ cm}^2$) o limiar tátil é independente da frequência. Estes dados poderiam ser usados para indicar os limiares táteis em projetos de interface táteis, entretanto, o gráfico não leva em consideração as diferenças individuais dos participantes, como também à tecnologia empregada.

Ao projetar uma exposição vibro-tátil é importante assegurar-se de que o sinal seja forte bastante para ser detectado, mas não tão forte que venha causar dor ou algum incômodo (CRAIG e SHERRICK, 1982). O ponto inicial da percepção deve ser estabelecido de forma empírica, e os níveis de intensidade devem variar deste ponto inicial até em torno de 55 dB SL; acima de 55 dB SL a estimulação pode tornar-se dolorosa (VERRILHO, 1963; VERRILHO e GESCHIEDER, 1992).

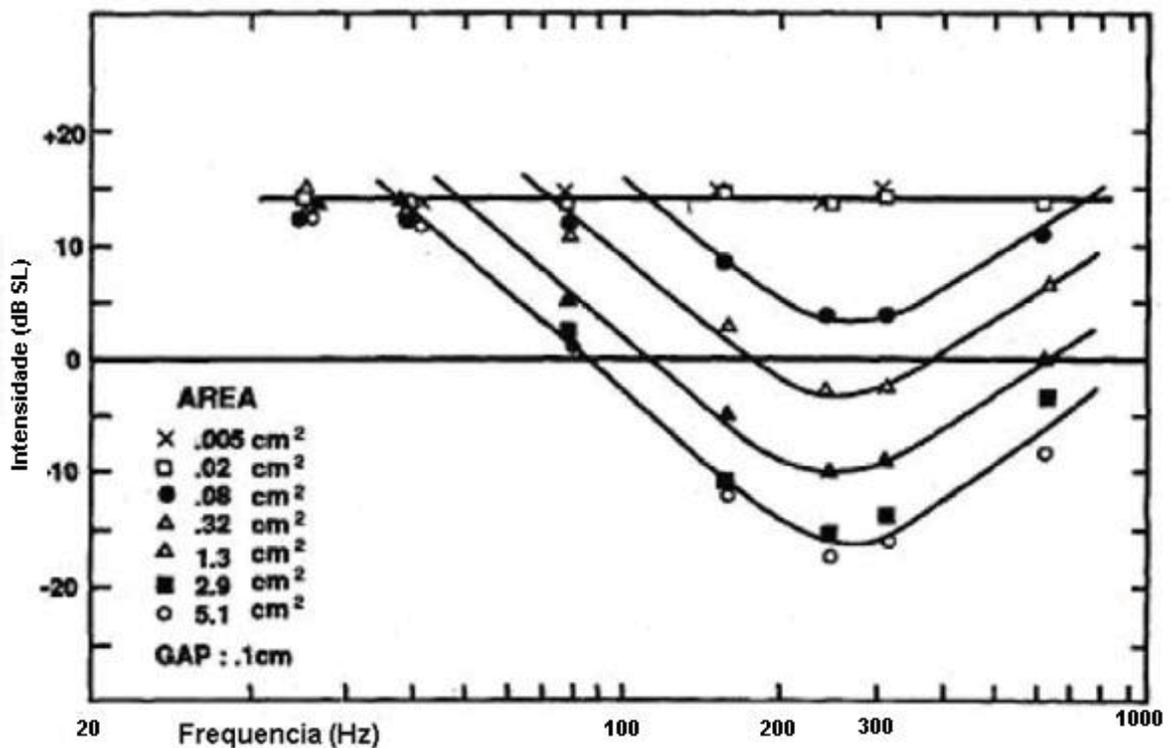


Figura 3- 2 Limiares para a detecção de estímulos vibro-tátil medida como uma função da frequência senoidal na eminência tenar da mão direita (VERRILHO & GESCHIEDER, 1992)

A menor variação de intensidade tátil que pode ser sentida, DL (*Difference Limen*), pode ser referenciada em termos relativos sendo conhecida como taxa Weber. A taxa Weber é calculada dividindo-se a variação incremental tátil percebida pela intensidade existente (SHERRICK e CRAIG, 1992).

Em SHERRICK e CRAIG (1982) foi encontrada uma taxa Weber de 0,2 para vibrações de 160 Hz no dedo indicador em uma escala de 10-40 DB SL. Este resultado indica

que é necessário um aumento ou uma diminuição de 20% para que uma mudança na amplitude possa ser percebida. Em CHOLEWIAK e COLLINS (2001), utilizando o dispositivo comercial da CEA V1440 (um dispositivo vibro-tátil disponível no comércio usado em prótese auditivas táteis), e com vibrações de 250 Hz, foi encontrada uma taxa Weber de 0,4 perto do ponto inicial da percepção, e de 0,2 em 20 dB SL.

Em SUMMERS (1992) foram realizadas experiências em usuários usando mudanças na amplitude em etapas e pedindo a estes para indicarem se a amplitude aumentou, caiu ou permaneceu constante. Seus resultados mostraram que o desempenho melhorou quando a duração do estímulo aumentou. A taxa de acerto ficou ao redor de 80% para estímulos com 800 milissegundos de duração (comparada a 40% para os estímulos que duraram 100 milissegundos).

3.3.2 Frequência

A frequência refere-se à taxa de vibração, expressa em Hertz. São utilizadas duas formas de ondas para o processo de conversão da frequência em estímulos vibro-tátil: senoidal e estímulos pulsados.

Enquanto a onda sonora pode ser ouvida somente na faixa de 20 a 20 kHz, a faixa de sensibilidade tátil da pele é muito menor, variando de 10 Hz a 1 kHz (SHERRICK e CRAIG, 1982), e, na prática, limitada a 10-400 Hz (CHOLEWIAK e WOLLOWITZ, 1992). A sensibilidade máxima dos corpúsculos de Pacinian (os receptores que respondem à vibração de alta frequência) ocorre entre 200 – 300 Hz (VERRILHO e GESCHIEDER, 1992). A Figura 3.2 ilustra o ponto inicial de percepção tátil para a vibração em função da frequência, para mostrar a sensibilidade sobre uma escala de frequências. Este diagrama mostra a sensibilidade máxima ao redor de 250 Hz.

Existe uma interação entre a frequência e a intensidade, conforme ilustrada na Figura 3.2. O limiar tátil corresponde ao ponto inicial da curva quando a sensibilidade tátil começa a ser percebida, em relação à frequência e em relação à intensidade. Para frequências diferentes em cada curva, resulta em valores subjetivos diferentes de intensidade. Mudança na intensidade de um sinal em uma mesma curva conduz a uma mudança na frequência percebida.

O primeiro estudo de percepção do ponto inicial de diferença para a frequência em que o valor subjetivo de frequências da diferença foi realizado por GOFF(1967). GOFF apresentou vibrações senoidais na ponta do dedo em uma escala de 25 – 200 Hz, e encontrou relações de Weber para o agrupamento de frequência ao redor de 0,2 em 50 Hz a 0,4 em 200 Hz, quando o valor foi combinado a um nível de intensidade da referência de 35 dB SL. Quando o nível de intensidade de referência foi reduzido a 20 dB, as relações de Weber permanecem em 0,2 em 50 Hz e variam a 0,55 em 200 Hz. Estes resultados indicaram que o ponto inicial de diferença para a frequência é maior quando a intensidade é mais baixa, e que as discriminações da frequência são mais fáceis em baixas frequências.

Em ROTHENBERG *et al* (1997) foram utilizados estímulos de pulsos (pulsos de 1,1 ms) na ponta do dedo e foi constatado que diferenças tão pequenas como 0,09 eram percebidas em frequências de pulso de 10-20 Hz, e de 0,15 a 0,3 com frequência de 100 Hz a 300 Hz. Estes resultados indicaram que a discriminação de estímulos do pulso é a melhor em frequências abaixo de 100 Hz e que, como com os estímulos senoidais, a sensibilidade diminui geralmente quando a frequência aumenta. Comparando estes resultados aos resultados para senoides na mesma experiência pode-se afirmar que a discriminação é melhor com estímulos do pulso do que com estímulos sinusoidais. ROTHENBERG *et al* (1997) relatam também que sensações diferentes podem ser criadas variando a largura de pulso dentro destes trens de pulso, e que esta variável pode fornecer outra dimensão para codificar a informação tátil.

3.3.3 Forma de onda

Em GELDARD (1960), foi observado que a percepção tátil para formas de onda diferentes era uma área inexplorada. ROTHENBERG *et al* (1997) realizaram estudos para investigar a diferença no reconhecimento da frequência quando a forma de onda for senoidal, quadrática e tons musicais, mas não investigou se as pessoas poderiam distinguir ou identificar estas formas de onda diferentes.

Em GUNTER (2001), foi verificado que as pessoas não conseguem diferenciar ondas senoidais das ondas dente de serra. Todavia, nenhum resultado experimental foi apresentado e conseqüentemente estes resultados não podem ser validados.

3.3.4 Duração

O termo duração refere-se ao tempo de vibração e pode ser definida como o tempo do início até o final do estímulo. As durações vibro-táteis são expressas em segundos e milissegundos.

Ao adotar uma duração para o estímulo tátil é importante assegurar-se que os estímulos sejam suficientemente longos para serem detectados pelo usuário, mas não tão longo para fazer a transferência de informação ficar demasiadamente lenta. GELDARD (1957) especifica que uma escala útil de durações deve ficar entre 0,1 a 2 segundos. As durações acima de dois segundos podem conduzir a uma comunicação muito lenta da informação, enquanto que as durações inferiores a 0,1 segundos podem gerar uma sensação equivalente a uma cotovelada ou puxão, que poderia ser indesejável.

Outro fator importante a ser considerado é o intervalo entre as vibrações. Em VERRILLO e GESCHIEDER (1992) foi verificado que o intervalo entre as vibrações devem ser no mínimo 10 ms, mas são dependentes do tamanho e da intensidade das vibrações.

Em VAN DOREN *et al* (1990) foi testada a duração do estímulo com ondas senoidais de 256 Hz e o ruído na faixa de 250 a 500 Hz sobre a ponta do dedo polegar. Os resultados para ambos os estímulos mostraram que a intensidade exigida para a detecção do início de sensibilidade diminuía com o aumento do tempo de duração dos estímulos. Para os estímulos senoidais um tempo de duração de 10 milissegundos poderia ser detectada (75% do tempo) com uma intensidade em torno de 25 dB SL. Duração igual ou acima de 100 ms são exigidas para que uma intensidade em torno de 8 dB SL seja detectada. Para estímulos com ruído, a intensidade exigida para detectar durações menores era significativamente mais elevada, ao redor de 40 dB SL para duração de 10ms, reduzindo-se em torno de 8 dB SL para duração de 100 ms.

Em GELDARD (1957) foi testada a duração da percepção tátil sobre o tórax ventral e os resultados mostraram que os usuários poderiam distinguir até 25 tempos de durações diferentes, mas que apenas quatro níveis poderão ser absolutamente identificados. O resultado foi conseguido em um laboratório experimental com treinamento intensivo, por isso ele recomenda que o número de durações deva ser reduzido para três níveis, se essa formação não for possível.

3.3.5 Posição ou localização do estímulo

Existem muitas possibilidades para escolha do ponto de localização do estimulador vibro-tátil no corpo humano. A escolha é limitada somente pela praticidade de onde os atuadores podem ser conectados e pelo ponto inicial de diferença da sensibilidade tátil. Além disso, a sensibilidade tátil varia para as diversas posições no corpo, sendo diferente para pele lisa e pele peluda, e nesta, deve-se ter mais cuidado ao selecionar as posições.

A sensibilidade de posições diferentes do corpo deve ser considerada acima da praticidade da instalação do estímulo. Por exemplo, as pontas do dedo são de uso geral devido ao fato de que são altamente sensíveis às amplitudes pequenas e têm a boa acuidade espacial (CRAIG e SHERRICK, 1982), mas podem ser uma escolha pouca prática para computadores móveis ou experimentos em que os usuários podem ser exigidos usar suas mãos para outras tarefas.

A distância mínima exigida entre dois pontos para que seja percebida diferença tátil foi encontrada em torno de 0,9 mm na ponta do dedo (PHILLIPS e JOHNSON, 1984) variando-se em função da posição no corpo humano, conforme ilustrado na Figura 3.3.

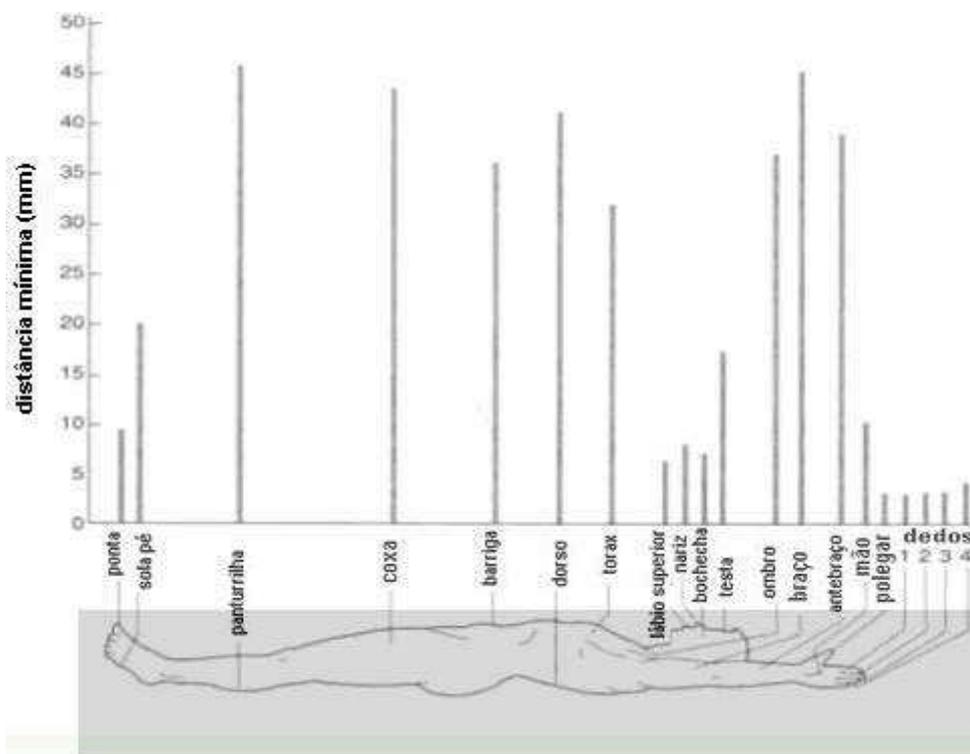


Figura 3- 3 Limites de sensibilidade entre dois pontos para estímulos táteis em posições diferentes no corpo masculino (GOLDSTEIN, 1999; TAN *et al*, 1999)

3.4 TECNOLOGIAS VIBRO-TÁTEIS

As pesquisas com estimuladores táteis têm utilizado atuadores eletro-táteis e vibro-táteis. As sensações produzidas pelas estimulações eletro-táteis podem ser tanto confortáveis (vibratórias) quanto desconfortáveis (picadas). A estimulação eletro-tátil pode produzir uma sensação de picada desconfortável mesmo em níveis moderados de estimulação, se formas de onda ou eletrodos impróprios forem utilizados. O nível máximo de aceitação da sensação de picada limita a corrente de estimulação e, portanto a faixa dinâmica útil, ou seja, a faixa que vai desde que se sente o estímulo até onde se começa a sentir dor (KACZMAREK *et al*, 1992). As pessoas descrevem as sensações eletro-táteis qualitativamente como um tipo de zumbido, coceira, vibração, toque, pressão, beliscão, dor aguda e ardência, dependendo da tensão, corrente e forma de onda de estimulação, tamanho e material do eletrodo, força do contato, localização, espessura e hidratação da pele (KACZMAREK *et al*, 1991).

Os tipos mais comuns de atuadores vibro-táteis são os tipos inerciais, lineares e piezoelétricos.

A maioria dos dispositivos de ajuda vibro-táteis portáteis utiliza transdutores inerciais, que são os mais comumente utilizados em telefones celulares. Neste tipo de transdutores, uma massa é suspensa por uma mola, ou haste flexível, fixada em uma caixa selada que envolve todo o estimulador, conforme ilustrado na Figura 3.4. A Figura 3.5 ilustra o atuador comercial VBW32 da empresa Audiological Engineering Corporation (AEC) com construção similar ao modelo apresentado na Figura 3.4.

Os atuadores VBW32 são pequenos, pesando 6 g e medindo 2,5 cm x 1,9cm x 1,1 cm. Podem produzir amplitudes de até 50 dB SL, e têm uma resposta de frequência máxima de 250 Hz (fonte: www.tactaid.com).

Os atuadores lineares podem produzir eficientemente uma faixa de frequências de 0,1 Hz a 300 Hz, e são, conseqüentemente, apropriados para estudos da percepção tátil (CHOLEWIAK e WOLLOWITZ, 1992). Os atuadores lineares não são facilmente adaptados para a construção de dispositivos práticos devido às suas dimensões, peso e elevado consumo.

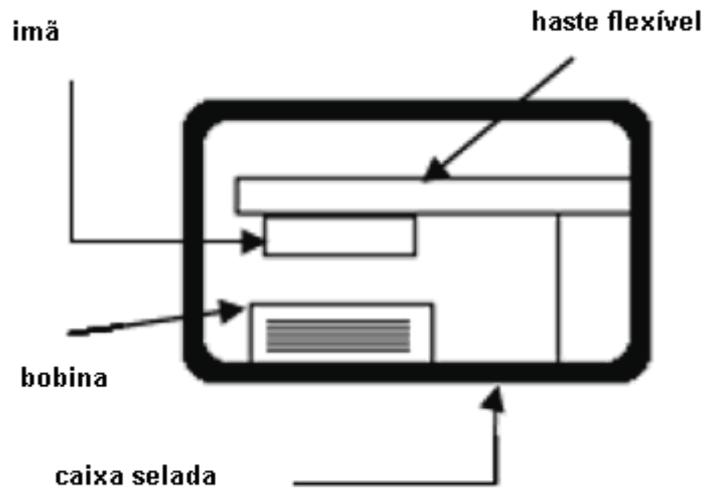


Figura 3- 4 Construção de um atuador inercial (CHOLEWIAK & WOLLOWITZ, 1992)

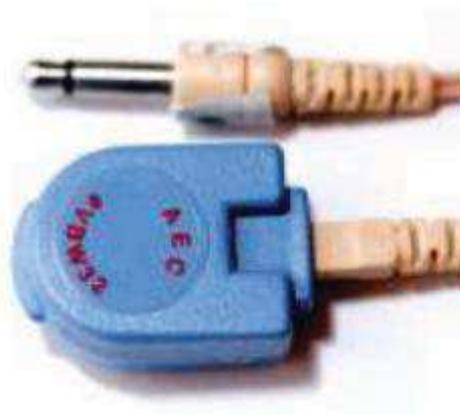


Figura 3- 5 AEC TACTAID VBW32 atuador com jack de 3,5 mm

A Figura 3.6 ilustra a construção típica de um transdutor linear. Por Exemplo: o B& K 4810 mede aproximadamente 10 cm de altura, 10 cm no diâmetro e pesa 1,1 kg (CHOLEWIAK e WOLLOWITZ, 1992). Estas características dos atuadores lineares os tornam desinteressante em relação aos atuadores inerciais, para pesquisas táteis com pessoas.

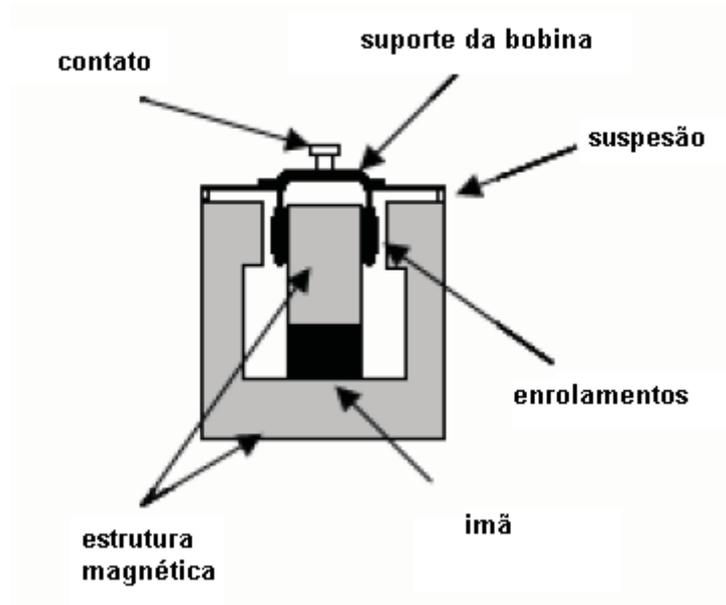


Figura 3- 6 Construção típica de um transdutor linear, adaptado de CHAN (2004)

O C2 Tactor da *Engineering Acoustics Incorporated* (www.eaiinfo.com) é um atuador linear, que foi projetado com pouco peso em relação aos grandes atuadores lineares de laboratórios (MORTIMER, 2006). O contato no dispositivo é uma massa que se movimenta e que é montada acima da carcaça, para tocar à pele. A massa movimenta-se de forma perpendicular ao contato da pele. A Figura 3.7 estão ilustrados os detalhes construtivos do atuador C2.

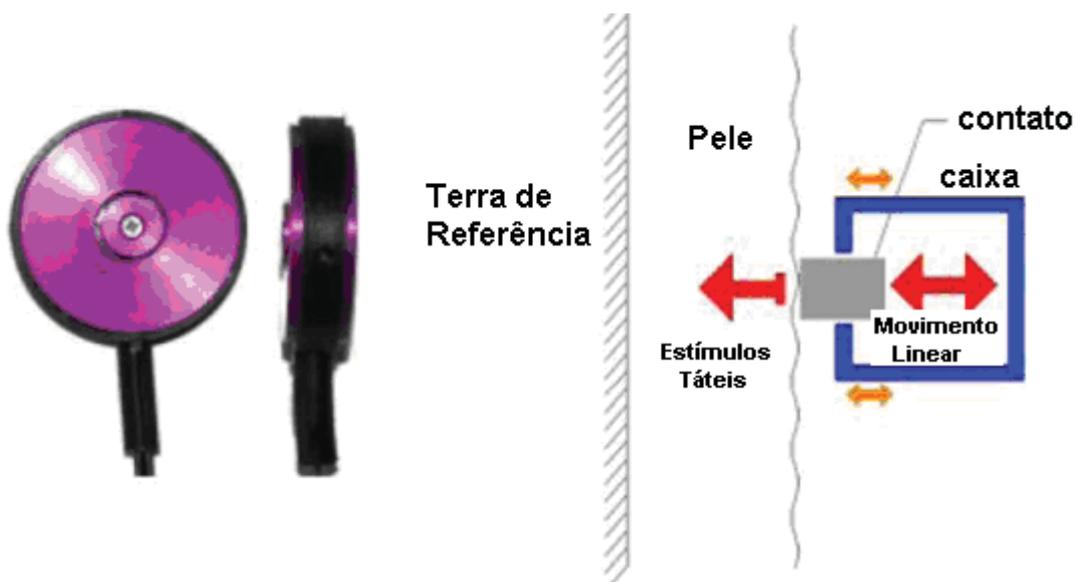


Figura 3- 7 Atuador C2 a esquerda e o seu modo de operação a direita (MORTIMER *et al*, 2006)

Os transdutores piezoelétricos podem se contrair e expandir quando submetidos a uma tensão elétrica. Em um exemplo dado por BLISS *et al* (1970), duas camadas das ligas piezocerâmicas são revestidas com camadas finas condutivas de Níquel, e uma folha fina de bronze de condução é colocada entre as duas camadas (veja detalhes na Figura 3.8). Quando uma tensão é aplicada entre a camada condutora de níquel e o bronze, a camada superior se contrai longitudinalmente e a camada inferior se expande longitudinalmente. Com isso, o mecanismo dobra-se para cima, fazendo levantar o pino do estimulador.

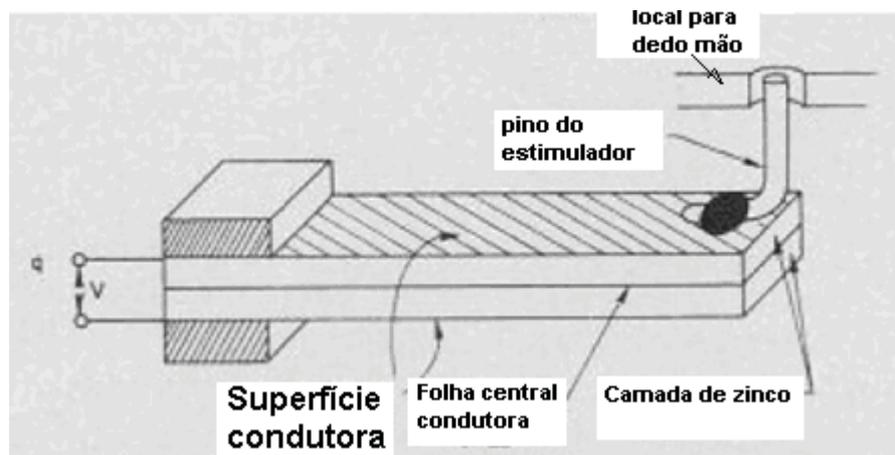


Figura 3- 8 Transdutor piezoelétrico. Fonte: (BLISS *et al*, 1970)

Quando ocorre uma inversão na polaridade da tensão, ocorre o inverso, a camada inferior se contrai e a superior se expande, fazendo abaixar o pino do estimulador. Isto significa que os transdutores piezoelétricos quando submetidos a uma corrente elétrica alternada provocam uma vibração no pino do estimulador. Contudo, os transdutores piezoelétricos tendem a serem usados em aplicações estáticas. Uma matriz de transdutores piezoelétricos pode ser usada para gerar caracteres Braille levantando e abaixando os pinos do estimulador, como demonstrado em BENALI-KHOUDJA *et al* (2004).

3.4.1 Dispositivos táteis típicos

Os dispositivos táteis são dispositivos projetados para a comunicação tátil com as pontas dos dedos, de forma a provocar alguma sensação de pressão, calor ou vibração. As configurações mais comuns destes equipamentos são descritas a seguir.

- Atuadores pneumáticos: utilizam pequenas bolsas de ar sob os dedos, que ao inflarem provocam pressão sobre os dedos dando a sensação de que o usuário tocou em algum objeto. Com a pressão, as bolsas de ar inflam de acordo com a simulação desejada no mundo virtual.
- Eletrodos: produzem descargas elétricas controladas a fim de estimular seletivamente os receptores da pele. Podem dar ótimos resultados, mas são de difícil implementação (ASAMURA *et al*, 1998; KAJIMOTO *et al*, 2003).
- Atuadores vibratórios: produzem vibrações sobre a pele. Estas vibrações podem ser produzidas por dispositivos como micro alto-falantes ou por materiais piezoelétricos (IKEI, 1997).
- Matrizes bidimensionais de pontos: tocam a pele com o intuito de produzir uma sensação de pressão que reproduza a forma de um objeto. Cada um destes pinos pode ser visto como um estimulador tátil ou um tactor, também conhecido como monitor tátil. A implementação destes tactors pode ser feita, também, com jatos de ar (AMEMIYA e TANAKA, 1999).

3.4.2 Dispositivos Hápticos

O tato é o único dos sentidos que permite entrada e saída de informação simultaneamente, ou seja, a interação é bidirecional. Ao manipular um objeto qualquer, o usuário tanto recebe informação do mesmo (forma, peso, textura etc.) como também pode gerar informações (mover, rodar, deformar o objeto etc.), por exemplo. A visão e a audição apenas recebem a informação. As interfaces de computadores convencionais utilizam interação em uma única direção, como o mouse e teclado. Porém, uma interface reativa, que suporte os sentidos do tato, pode tirar muito proveito da bidirecionalidade da interação, aumentando sensivelmente a largura de banda na transferência de informação entre o usuário e a interface. Esses tipos de interfaces são conhecidas como interface hápticas, uma vez que expressa mecanismos diferentes de percepção do tato (calor, frio, força, movimentos e

vibrações), e normalmente ligados a área de computação. As pesquisas com dispositivos hápticos é uma área recente e ainda tem muito a ser feito.

3.4.3 Escolha do dispositivo tátil para esta pesquisa

Os requisitos principais estabelecidos para a escolha do atuador vibro-tátil para este trabalho, entre as tecnologias disponíveis para os dispositivos, foram os seguintes: leve, pequeno, barato e com facilidade para aquisição. Além de atender a estes requisitos, escolhemos trabalhar com o atuador de TACTAID VBW32 (Figura 3.5) também pelo fato de já existir alguma experiência quanto ao seu uso no LIMC (Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas) do DEE (Departamento de Engenharia Elétrica) / UFCG.

3.5 AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE TÁTIL

Neste trabalho foi investigada a codificação de voz em estímulos vibro-táteis em tempo real para pessoas com deficiência auditiva. Para isso, foi utilizado o atuador vibro-tátil descrito na Figura 3.5 e um equipamento para gerar o sinal que produz a vibração do atuador. O atuador deverá ficar posicionado na ponta dos dedos da mão do indivíduo. A faixa da escala de frequência do sinal que alimenta o atuador para produzir a vibração, na qual a pessoa consegue maior discriminação tátil, é de 10 a 100 Hz (SADATOA *et al*, 2004). Contudo, inicialmente foi investigado se existe algum dedo da mão mais sensível que outro nesta faixa de frequência, como também foi verificado se existe diferença na sensibilidade tátil nesta faixa de frequência para um mesmo dedo. Em BARBACENA *et al* (2009) foi feita esta investigação, cujos procedimentos e resultados são apresentados a seguir.

3.5.1 Motivação da investigação da sensibilidade dos dedos da mão

Durante o século XX, algumas investigações foram feitas com estímulos vibrotáteis, que concluíram que o sentido tátil tem a melhor sensibilidade para sinais com vibrações entre 10 Hz e 100 Hz (BORING, 1942). A duração do estímulo é outro fator que pode afetar a percepção de um estímulo vibro-tátil. Observou-se que quando a duração do estímulo é superior a 200 ms, o sujeito tem uma boa percepção da estimulação (BORING, 1942). Em relação à localização do estímulo, as pontas dos dedos têm uma maior sensibilidade (BORING, 1942). Não foi encontrado na bibliografia estudada resultados de pesquisa que afirma se algum dos dedos tem maior sensibilidade que os demais.

3.5.2 Metodologia de avaliação da sensibilidade tátil

Para avaliar se existe algum dedo da mão mais sensível que outro foi aplicado testes psicofísicos utilizando uma ferramenta de software desenvolvida em ambiente Matlab® e utilizando-se a saída de áudio do computador pessoal para acionamento direto do dispositivo vibro-tátil. Durante o experimento foram elaboradas perguntas em relação à sensação de vibração do dispositivo vibro-tátil, que se posicionava na ponta de um dos dedos dos voluntários, e as respostas eram armazenadas pelo próprio sistema. Os dedos da mão dos voluntários foram colocados sobre a parte áspera do dispositivo vibro-tátil, conforme ilustrado na Figura 3.9.

3.5.2.1 Equipamentos e Hardware

Os equipamentos que foram utilizados no experimento foram: (1) O dispositivo vibro-tátil da Figura 3.5; (2) Notebook marca Toshiba, tela de 14', com 2GB RAM, 250GB HD, processador core 2 duo e sistema multimídia residente; (3) Fonte para o laptop e extensão para ligação elétrica; (4) Mesa e duas cadeiras.

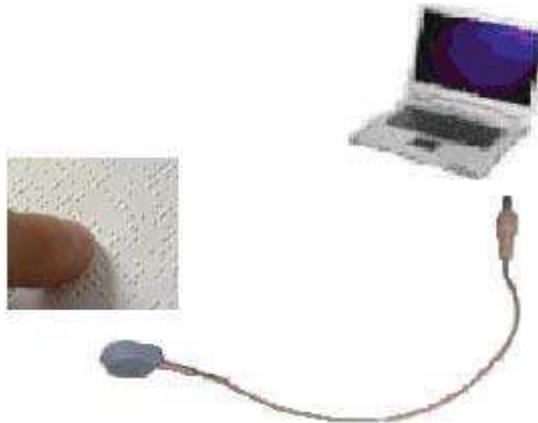


Figura 3- 9 Diagrama de blocos do teste tátil

3.5.2.2 Software

Para o experimento foi desenvolvido um sistema em ambiente gráfico, utilizando a ferramenta Matlab da Mathworks, versão 7, em ambiente operacional Windows XP. Na Figura xxx está ilustrado o fluxograma do programa principal.

O sistema quando carregado, ou aberto dentro do ambiente Matlab, traz a tela inicial, conforme ilustrado na Figura 3.11. Nesta tela o voluntário deve fornecer as informações relativas ao seu perfil, que são as seguintes:

- a) Nome do voluntário
- b) Tipo de deficiência: Auditiva, Visual ou nenhuma delas
- c) Sexo: Masculino ou Feminino
- d) Idade
- e) Grau de escolaridade: Fundamental, Médio ou Superior
- f) Idade que adquiriu a deficiência: 0, se congênita

Preenchendo todos os dados nesta tela, e clicando em “concluir” é apresentada a tela de treinamento, conforme apresentado na Figura 3.12. Depois que o voluntário estiver treinado para a frequência alvo, ou seja, memorizado a vibração correspondente à frequência alvo, bem como os efeitos táteis referentes aos demais botões, o sistema pode passar para a tela de teste, referente à frequência alvo da tela anterior, conforme ilustrado na Figura 3.13.

Memória Tátil

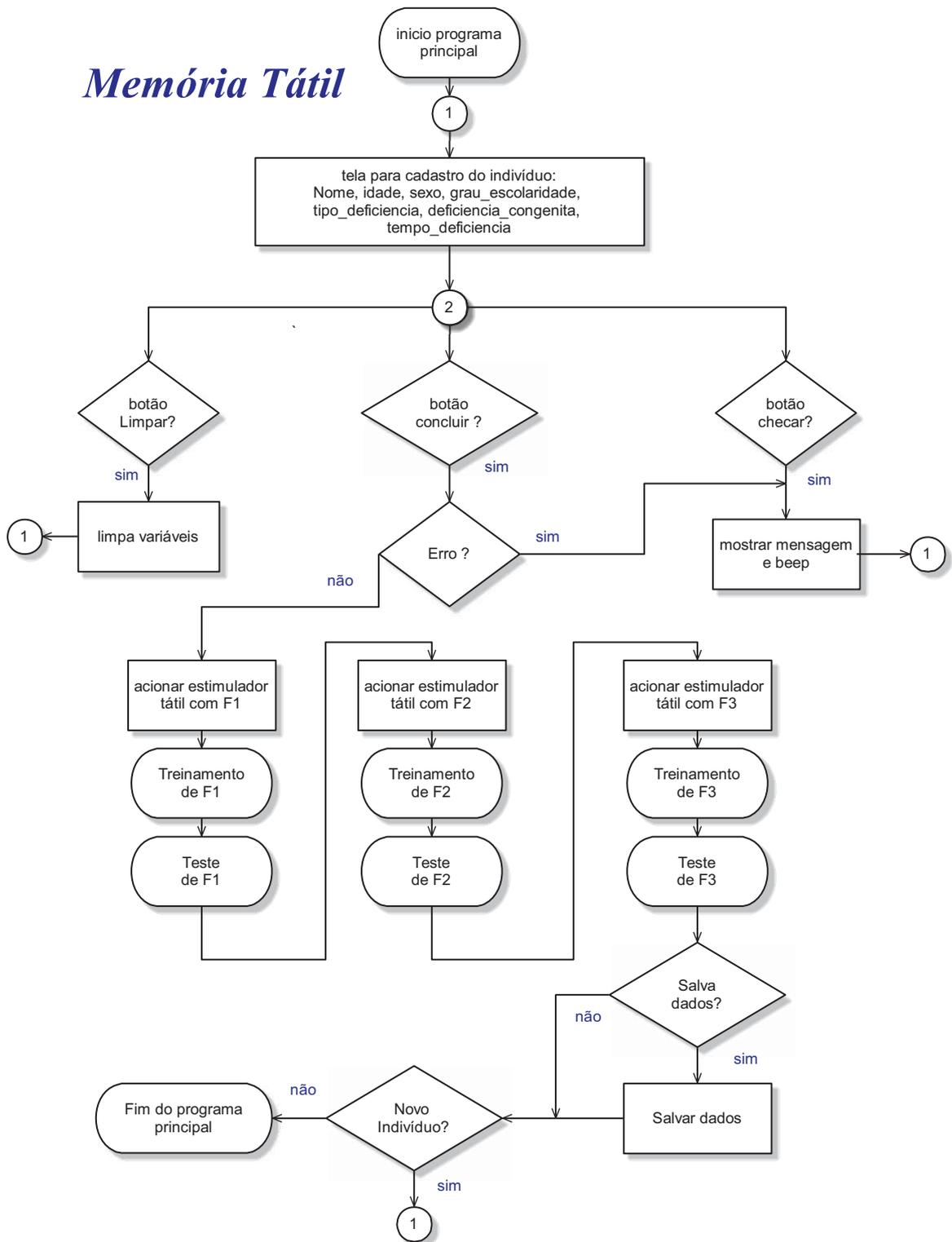


Figura 3- 10 Fluxograma do programa principal de memória tátil

Dados do Indivíduo em Teste

Nome :

Tipo de Deficiência: Sexo:

Idade (anos): Grau de escolaridade:

Se Deficiente:

Tempo de Deficiente:

Preencha todos os dados e clique em concluir

Figura 3- 11 Tela com dados do voluntário

Sensibilidade Tátil

Nome: Maria de Fatima

Treinamento

Aumentar

Diminuir

Treinamento para Freq Alvo 1 --> Posicao = ALVO

Autor: Ilton Luiz Barbacena

Figura 3- 12 Tela de treinamento



Figura 3- 13 Tela de teste

Ao entrar nesta tela o sistema gera simultaneamente o sinal com a frequência aleatória (f_i), dentro de um conjunto de frequências pré-definidas, não correspondentes à frequência alvo memorizada anteriormente, conforme tabela 3.2. O voluntário tem a opção de acionar o botão “iniciar” para repetir o envio deste sinal desconhecido, por até seis vezes, antes de iniciar o teste. Uma vez iniciado o teste esta opção fica desabilitada.

O teste consiste no seguinte:

O voluntário deve sentir se este sinal gerado por último vibra mais ou menos que o sinal correspondente ao alvo, em que foi previamente treinado. Se achar que vibra menos deve escolher uma das opções dos botões de aumentar e clicar no mesmo, gerando um novo sinal com uma vibração já acrescida, correspondente ao botão escolhido. Se ainda sentir que deve aumentar, para atingir à vibração do alvo, deve continuar escolhendo os botões de aumentar. Se achar que passou, e que agora deve agora diminuir, então deve acionar os botões de diminuir. O teste para esta frequência encerra-se quando o voluntário entender que o último sinal gerado corresponder ao sinal alvo, memorizado previamente, durante a fase de treinamento, e neste momento, o voluntário clica em “aceitar”.

Ao clicar em “aceitar” passa-se para a fase seguinte, correspondente ao treinamento e teste das demais frequências alvos. O teste se repete para cada um dos dedos das mãos do voluntário.

3.5.2.3 Procedimentos Metodológicos

Os experimentos foram realizados com a participação de alunos e pacientes voluntários ligados a FUNAD (Fundação Centro Integrado de Apoio ao Portador de Deficiência), Institutos dos Cegos e Escolas de Surdos. Para os voluntários ouvintes foram trabalhados com alunos do IFPB.

Tabela 3- 2 Escala logarítmica de frequências

Ponto i	Fi (Hz)	Ponto i	Fi (Hz)
0	10		
1	10,5	27	33,1
2	10,9	28	34,6
3	11,4	29	36,1
4	11,9	30	37,8
5	12,5	31	39,5
6	13,0	32	41,2
7	13,6	33	43,1
8	14,3	34	45,1
9	14,9	35	47,1
10	15,6	36	49,2
11	16,3	37	51,5
12	17,0	38	53,8
13	17,8	39	56,2
14	18,6	40	58,8
15	19,4	41	61,4
16	20,3	42	64,2
17	21,2	43	67,1
18	22,2	44	70,2
19	23,2	45	73,3
20	24,2	46	76,7
21	25,3	47	80,1
22	26,5	48	83,8
23	27,7	49	87,6
24	28,9	50	91,5
25	30,3	51	95,7
26	31,6	52	100,0

Participaram dos testes 232 voluntários: 78 cegos, 77 surdos e 77 pessoas sem nenhuma deficiência. Para cada pessoa, foi definida uma sequência de escolha dos dedos da mão dominante para testes: polegar, indicador, médio, anular e mínimo.

Durante o experimento, o voluntário foi treinado para identificar um sinal tátil com uma frequência padrão por meio dos estímulos vibro-táteis pulsado na ponta dos dedos (memória tátil). Em seguida, um novo sinal tátil de frequência aleatória é enviado para o estimulador tátil para ser identificado pelo voluntário. A duração do sinal de vibração tátil foi de 3 s.

Foi adotada a escala logarítmica, na distribuição das frequências para estimulação tátil, tendo em vista que a sensibilidade varia em uma escala logarítmica (LIMA *et al*, 2004). A escala logarítmica de frequências está distribuída na faixa de 10 a 100 Hz, correspondentes a faixa de melhor sensibilidade tátil (BORING, 1942; SADATOA *et al*, 2004), e contém 53 pontos, definidos na Tabela 3.2 , formados a partir da Eq. (3.1):

$$f_i = 10^{\left(1 + \frac{i}{N}\right)}, \quad (3.1)$$

$i = 0, 1, 2, 3, \dots N$ sendo $N = 52$ (53 pontos)

Sendo:

- N é a quantidade de intervalos,
- i corresponde a cada passo ou posição na escala;
- f_i é a frequência correspondente a posição i .

As frequências definidas como alvos são: $f_1 = 17,8$ Hz ($i = N/4$), $f_2 = 31,6$ Hz ($i = N/2$) e $f_3 = 56,2$ Hz ($i = 3N/4$), igualmente espaçadas em 13 pontos na escala. Na Tabela 3.2 estão ilustrados todos os pontos discretos da escala logarítmica, juntamente com os pontos correspondentes as frequências alvos (pontos 13, 26 e 39).

Durante o aprendizado os voluntários não tiveram conhecimento de como são geradas as frequências alvos, bem como, dos procedimentos de avaliação.

Os procedimentos para a avaliação da sensibilidade tátil, em ordem cronológica, estão enumerados a seguir:

1. O voluntário fornece os dados relativos ao seu perfil, que é armazenado pelo sistema;
2. O voluntário é informado que se trata de um jogo de memória tátil onde ele deve memorizar um sinal, através do tato, e depois adivinhar qual é este sinal comparando com outros. A ideia é adivinhar com o menor número de tentativas e em menor tempo. Ao final será divulgado quem adivinhou com o menor número de tentativas e em menor tempo. O objetivo do sistema é que ocorra o acerto com o menor número de tentativas.

3. O sistema gera um sinal com uma frequência alvo aleatória (f_1 , f_2 ou f_3), para treinamento do voluntário, e mostra a interface apresentada na Figura 3.12.
4. Esta tela permite que o voluntário possa mudar a frequência do sinal, para outro ponto da escala logarítmica, deslocando para cima ou para baixo, para o valor correspondente a 1, 2, 4 ou 8 pontos, para os botões “Pequeno”, “Normal”, “Grande” e “Muito Grande”, respectivamente.
 - a) Se chegar a uma das extremidades (10 ou 100 Hz), mesmo que seja pressionado o botão para forçar a saída da faixa, será repetido o valor da extremidade;
 - b) Se for pressionado, o botão “Freq. Alvo” provoca a volta para a posição original, enviando um sinal correspondente à frequência alvo em treinamento.
 - c) Se for pressionado o botão “Treinado”, encerra-se o treinamento para esta frequência alvo e inicia o teste para identificação da mesma.
5. O sistema gera um sinal aleatório correspondente a 13 posições na escala logarítmica, para cima ou para baixo, em relação à frequência treinada no item anterior, e em seguida reinicia o teste. A tela da Figura 3.12 é apresentada. O voluntário não é informado sobre a escala tátil e tão pouco, sobre as 13 posições distante do alvo.
 - a) O voluntário deve informar se está vibrando mais ou menos que o alvo anterior.
 - b) Se responder que está vibrando mais, é perguntado ao voluntário como ele quer que baixe: “pouco”, “normal”, “muito” ou “bem muito”
 - c) Se responder que está vibrando menos, é perguntado ao voluntário como ele quer que aumente: “pouco”, “normal”, “muito” ou “bem muito”
 - d) A cada resposta do voluntário ocorre um deslocamento do valor da frequência para um dos valores correspondentes na escala tátil ou na Tabela 3.2, em 1, 2, 4 ou 8 posições. Em seguida é reenviado outro sinal com este novo valor de frequência. É também atualizada a quantidade de tentativas para esta frequência alvo, do dedo corrente.
 - e) Este procedimento se repete, retornado ao item (a), até que o voluntário responda, “está bom” ou “este último sinal corresponde aquele que foi treinado”. Então é pressionado o botão “Aceitar”.
 - f) Ao pressionar o botão “Aceitar”, o sistema armazena o tempo decorrente do início do teste desta frequência alvo, até o seu final, a quantidade de tentativas e a posição na escala no final do teste. Este procedimento

avança para o treinamento e teste das outras frequências alvos, do dedo corrente.

g) Se a posição final coincidir com a posição da frequência alvo que o voluntário foi previamente treinado, então ocorreu um acerto no teste para esta frequência alvo no dedo corrente.

6. Os procedimentos 3, 4, 5 e 6, se repetem para o treinamento e teste das demais frequências alvos, na avaliação do dedo corrente.

7. Todos os procedimentos anteriores são repetidos para todos os dedos da mão dominante do voluntário.

Os resultados são armazenados em um arquivo Excel, contendo os dados do perfil do voluntário e o número de interações ou tentativas, a posição final e o tempo de duração, para cada frequência alvo, de cada dedo da mão.

3.5.3 Resultados sobre a avaliação tátil

A sensibilidade tátil de cada dedo, para cada frequência alvo, foi avaliada utilizando-se a quantidade de tentativas e a distância em relação à posição final do voluntário ao final do teste, na escala logarítmica, comparada com a posição da frequência alvo.

As frequências alvos foram geradas a uma distância fixa de 13 posições do alvo (para cima ou para baixo, de forma aleatória), portanto, o menor número de tentativas seria: $8 + 4 + 1$. Ou seja, em uma situação ideal com acerto final, o voluntário teria que optar pelos botões correspondentes a estes passos, e chegaria ao final com 3 tentativas ou interações. Se o voluntário optar pelas interações: $8 + 4 + 4$, então o usuário teria 3 tentativas, porém, não acertando o alvo, e posicionando-se no final com uma distância de 3 posições. O participante não sabe nada sobre estas posições e como são geradas as frequências alvos.

O sucesso da participação do voluntário no experimento foi definido da seguinte forma:

- a) 1: representa que a pessoa obteve sucesso;
- b) 0: representa que a pessoa não obteve sucesso;

Foi considerado sucesso quando a pessoa, no final do teste, conseguiu uma das seguintes condições:

- a) Identificar a frequência alvo, posicionando-se no ponto da escala logarítmica correspondente ao alvo, utilizando-se de até 12 interações;
- b) Ficar a pelo menos a um passo do alvo, utilizando-se de até 8 interações;

Na análise dos resultados foram usados os seguintes testes estatísticos: teste t para duas amostras independentes, ANOVA com um critério de classificação (NETO, 2002) e teste t para amostras pareadas e dependentes (NETO, 2002). As condições de normalidade e homogeneidade (NETO, 2002; VIEIRA, 2006) necessárias para validação desses testes foram atendidas.

O teste estatístico ANOVA foi utilizado para analisar se existem diferenças significativas na média de acertos das quinze tentativas, correspondentes aos cinco dedos da mão dominante, com três frequências alvos para cada dedo. A avaliação foi realizada para os três grupos: cegos, surdos e pessoas sem deficiência. O teste ANOVA foi aplicado em toda a população, correspondendo a 78 cegos, 77 surdos e 77 pessoas sem deficiência. A média de acerto dos cegos ($\mu = 3,65$) foi maior que a dos surdos ($\mu = 0,34$) e das pessoas sem deficiência ($\mu = 0,12$). Quanto ao nível de significância ($\text{sig} = 0,00001$), o mesmo foi menor que 5%. Este fato torna improvável a hipótese de igualdade entre os 3 grupos, indicando uma forte evidência de que a média dos acertos dos cegos é maior que a dos demais grupos.

Tabela 3- 3 Teste de ANOVA para comparar as diferenças entre crianças, adolescentes e adultos

Cegos	Média	Crianças	4,36
		Adolescentes	2,56
		Adultos	4,12
	Significância (p-value)		0,129
Surdos	Média	Crianças	0,27
		Adolescentes	0,29
		Adultos	0,38
	Significância (p-value)		0,818
Sem deficiência	Média	Crianças	0,07
		Adolescentes	0,1
		Adultos	0,14
	Significância (p-value)		0,715

O teste estatístico ANOVA foi utilizado para analisar se existem diferenças significativas na média de acertos das quinze tentativas, correspondente aos cinco dedos da

mão dominante, com três frequências alvos para cada dedo, agora, para os seguintes grupos: (1) crianças, adolescentes e adultos; (2) voluntários com curso superior, médio e com ensino fundamental.

Com relação ao fator idade, o resultado do teste estatístico ANOVA é apresentado na Tabela 3.3. Este teste foi realizado com: (a) 11 crianças cegas, 15 surdas e 15 sem deficiência; (b) 25 adolescentes cegos, 17 surdos e 20 sem deficiência; (c) 42 adultos cegos, 45 surdos e 42 sem deficiência

No grupo dos cegos, a média de acerto das crianças foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,129, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

No grupo dos surdos, a média de acerto dos adultos foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,818, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

No grupo de pessoas sem deficiência, a média de acerto dos adultos foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,715, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

Com relação ao fator grau de escolaridade, o resultado do teste estatístico ANOVA é apresentado na Tabela 3.4. Este teste foi realizado com: (a) 43 pessoas cegas com nível escolar de primeira fase, 16 de nível médio e 19 de nível superior; (b) 37 pessoas surdas com nível escolar de primeira fase, 30 de ensino médio e 10 de nível superior; (c) 14 pessoas sem deficiência em nível escolar de primeira fase, 30 de nível médio e 33 de nível superior.

No grupo de pessoas sem deficiência, a média de acerto das pessoas com nível médio foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,198, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

Com relação ao fator sexo, o resultado do teste estatístico test t, para amostras independentes, é apresentado na Tabela 3.5. Este teste foi realizado com: (a) 30 pessoas cegas do sexo feminino e 48 do sexo masculino; (b) 25 pessoas surdas do sexo feminino e 52 do sexo masculino; (c) 29 pessoas sem deficiência do sexo feminino e 48 do sexo masculino.

No grupo dos surdos, a média de acerto das pessoas com nível universitário foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,224, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

Tabela 3- 4 Teste de ANOVA para comparar as diferenças entre graus de escolaridade dos voluntários

Cegos	Média	Fundamental	3,79
		Ensino Médio	2,19
		Superior	4,12
	Significância (p-value)		0,093
Surdos	Média	Fundamental	0,38
		Ensino Médio	0,20
		Superior	0,60
	Significância (p-value)		0,224
Sem deficiência	Média	Fundamental	0,07
		Ensino Médio	0,20
		Superior	0,06
	Significância (p-value)		0,198

Tabela 3- 5 Teste estatístico, test t, para comparação em relação ao sexo

Cegos			Surdos			Sem deficiência		
média		Sig	média		Sig	média		Sig
masc	fem		masc	fem		masc	fem	
3,1	4,0	0,244	0,48	0,27	0,192	0,1	0,13	0,779

No grupo dos cegos, a média de acerto dos homens foi maior que as mulheres. Entretanto, como o valor de significância foi 0,242, indica que não existe diferença significativa, em relação ao sexo, neste grupo.

No grupo dos surdos, a média de acerto dos homens foi maior que as mulheres. Entretanto, como o valor de significância foi 0,192, indica que não existe diferença significativa, em relação ao sexo, neste grupo.

No grupo de pessoas sem deficiência, a média de acerto das mulheres foi maior que a dos homens. Entretanto, como o valor de significância foi 0,779, indica que não existe diferença significativa, em relação ao sexo, neste grupo.

No grupo dos cegos, a média de acerto das pessoas com nível universitário foi maior que nos demais grupos. Entretanto, como o valor de significância foi 0,093, indica que não existe diferença significativa, em relação aos demais grupos.

Com relação ao fator tempo em que foi adquirida a deficiência, o resultado do teste estatístico *test t*, para amostras independentes, é apresentado na Tabela 3.6. Este teste foi realizado com: (a) 49 pessoas que já nasceram com a deficiência visual e 29 que adquiriram depois; (b) 58 que já nasceram surdas e 19 que ficaram surdas depois do nascimento.

No grupo dos cegos, a média de acerto das pessoas que adquiriram a deficiência depois do nascimento foi maior que daquelas que já nasceram cegas. Entretanto, como o valor de significância foi 0,723, significa que não existe diferença significativa, em relação ao tempo em que foi adquirida a deficiência, neste grupo.

Tabela 3- 6 Teste estatístico, teste t, para comparação em relação ao tempo em que foi adquirida a deficiência

Cegos			Surdos		
médias		Sig	médias		Sig
congenita	adquirida		congenita	adquirida	
3,55	3,83	0,723	0,33	0,37	0,817

No grupo dos surdos, a média de acerto das pessoas que já nasceram surdas foi maior que aquelas que adquiriram a surdez depois do nascimento. Entretanto, como o valor de significância foi 0,817, indica que não existe diferença significativa, em relação ao tempo em que foi adquirida a deficiência, neste grupo.

Na análise de sensibilidade tátil entre os dedos, no grupo dos cegos, o teste estatístico teste t foi utilizado para amostras pareadas e dependentes. Foi avaliado se existe diferença significativa entre as três frequências alvos utilizadas nos testes, bem como, se existe diferença significativa em algum dos dedos em relação aos outros. A ponta dos dedos foi selecionada para teste pelo uso contínuo do Braille pelos cegos. Na análise foi feita a comparação tátil dos dedos da mão para as frequências alvos. Neste teste, as seguintes hipóteses foram formuladas:

$$H_0: \mu_{D2} = \mu_{Di} \quad i=1, 3, 4, 5$$

$$H_1: \text{médias não são iguais}$$

onde:

- D1 é o polegar, D2 o indicador, D3 o médio, D4 o anelar e D5 o dedo mínimo.

O resultado do teste estatístico, teste t, para amostras pareadas da comparação da sensibilidade tátil da ponta dos dedos da mão do grupo dos cegos é apresentado na Tabela 3.7.

No teste t pareado para comparação entre os dedos em todos os pares de análise, o p-valor foi maior que o nível de significância, fator este que inviabiliza a possibilidade do dedo indicador ser mais sensível a estímulos táteis que os demais dedos da mão e há um forte indício que a sensibilidade tátil do dedo indicador seja igual à sensibilidade tátil dos dedos polegar, médio, anelar e mínimo.

Tabela 3- 7 Teste estatístico, test t, para comparação dos dedos da mão dos cegos

Cegos		
Dedo	Média	Sig ou p-value
D1- D2	-0,051	0,589
D2- D3	0,051	0,626
D2- D4	0,077	0,380
D2- D5	0,013	0,885

Na análise da sensibilidade tátil entre as frequências foi usado o teste t para amostras pareadas no grupo dos cegos, em que foi avaliada se existe diferença significativa entre a média de acerto em todos os dedos da mão na frequência alvo de 31,6 Hz e as frequências de 17,8 e 56,2 Hz. A frequência 31,6 Hz foi usada como referência neste teste, pois a frequência de 31,6 Hz é a média logarítmica entre 10 e 100 Hz.

Nesse teste admitiram-se as seguintes hipóteses:

$$H_o : \mu_{f_2} = \mu_{f_i} \quad i = 1,3$$

$$H_1 : \mu_{f_2} \neq \mu_{f_i}$$

Em que as frequências são representadas por f_1 , f_2 e f_3 para as frequências de 31,6 Hz, 17,8 Hz e 56,2 Hz, respectivamente.

Uma breve revisão sobre testes estatísticos é apresentada em anexo a este trabalho.

3.5.4 Avaliação sobre os resultados da investigação da avaliação tátil

Nesta avaliação tátil foi investigada a sensibilidade tátil das pontas dos dedos da mão dominante, utilizando-se um dispositivo vibro-tátil, em grupos de pessoas surdas, cegas e pessoas sem nenhuma destas deficiências. Dois métodos estatísticos de ANOVA foram utilizados para analisar os dados obtidos por meio de testes psicofísicos.

Com base nos resultados obtidos observou-se que os voluntários pertencentes ao grupo dos cegos apresentaram uma maior sensibilidade tátil que os voluntários dos demais grupos, baseado nos critérios estabelecidos.

O desempenho melhor do grupo dos cegos pode ser atribuído ao fato destes já possuírem treinamento prévio natural em função de já trabalharem com o Braille em suas leituras do dia a dia. Desta forma, os surdos necessitariam ter mais treinamento, como ocorre no aprendizado da linguagem dos sinais, para aquisição de maior percepção tátil. Da mesma forma, acredita-se que ocorreu o mesmo para as pessoas pertencentes ao grupo daqueles sem nenhuma deficiência.

Os resultados indicam também que não existe nenhuma diferença significativa na sensibilidade tátil entre: (a) homens e mulheres; (b) crianças, adolescentes e adultos; (c) pessoas que já nasceram com a deficiência com aqueles que a adquiriram depois do nascimento; (d) voluntários em diferentes níveis de escolarização: fundamental, médio e superior.

Os resultados da comparação da sensibilidade tátil entre os dedos da mão dos voluntários nos três grupos mostraram que não existe diferença significativa entre os dedos da mão, bem como não foi observada diferença significativa para as frequências alvos trabalhadas, dos sinais aplicados no dispositivo vibro-tátil. Este fato pode incentivar os pesquisadores à produção e desenvolvimento de sistemas e/ou dispositivos que possam aproveitar todos os dedos da mão dos voluntários portadores de deficiência auditiva e visual.

Assim, os resultados obtidos quanto à avaliação de sensibilidade tátil de pessoas com deficiência auditiva, foram utilizados nas etapas seguintes deste trabalho. Neste caso, não será considerada a classificação dos voluntários por sexo, idade ou grau de instrução.

3.6 CODIFICAÇÃO DE VOZ EM ESTÍMULOS VIBRO-TÁTEIS

Para cada proposta de codificação de parâmetros de voz em estímulos táteis deve-se escolher quais parâmetros da voz devem ser codificados, como também, o tipo e a quantidade de sensores táteis, além da forma de codificação. Em BLAMEY *et al* (1988), foram obtidos bons resultados utilizando estimuladores eletro-táteis codificados pela frequência fundamental (F0) e pelo segundo formante (F2), tanto para palavras isoladas como

na fala conectada. Neste trabalho foi escolhido a frequência fundamental da voz para codificação em frequência de vibração tátil.

3.6.1 Uso de transformações para mapeamento de sinal sonoro em sinais táteis

A participação do voluntário em exercícios fono-articulatórios ocorre de duas formas: direta e indireta. Na forma direta, o deficiente auditivo está plenamente consciente de seu processo educativo, ou seja, ele aceita participar ativamente dos exercícios (SPINELLI *et al*, 1999). Na abordagem, indireta, os objetivos dos exercícios não são declarados, eles são alcançados através da atuação da pessoa em jogos e brincadeiras, sendo utilizados principalmente com crianças e com pessoas que não se dispõem a participar diretamente do processo de treinamento fono-articulatório (SPINELLI *et al*, 1999).

Os sistemas de auxílio ao ensino da fala por realimentação visual apresentam geralmente a informação da fala por meio de gráficos e jogos, ou seja, de uma forma indireta, para gerenciar a participação do voluntário (ARAUJO, 2000).

Os primeiros sistemas táteis foram utilizados em pesquisas para auxiliar à percepção da fala ou como auxílio à leitura labial. Estes sistemas enquadram-se na classe de abordagem direta ao ensino da fala. A codificação do sinal de estimulação tátil pode ocorrer de duas formas: (a) o sinal de voz é aplicado diretamente em um estimulador em contato com a pele, com o mínimo de pré-processamento; (b) um número limitado de parâmetros é extraído do sinal de voz e são utilizados para modular o sinal de estimulação tátil. A transmissão indireta da informação acústica poderá ser aplicada também para indivíduos surdo-cegos, ou agregar a um sistema misto a característica de portabilidade, de forma que o módulo tátil possa ser separado do visual e utilizado independentemente, como jogos fono-articulatórios, sem a necessidade de existência de um computador.

Como a faixa de frequências perceptíveis pela estimulação vibro-tátil é diferente da faixa de frequência da voz humana, faz-se necessário fazer um mapeamento do parâmetro da voz em um valor correspondente na faixa de frequência tátil. Avaliamos neste trabalho algumas propostas de codificação de parâmetros de voz em sinal de estimulação tátil, de forma a permitir o uso de sistemas táteis em abordagens indiretas do ensino da fala, baseada em indicações de acerto ao alvo, em um sistema em tempo real.

Em BERNSTEIN *et al* (1989) e EBERHARDT *et al* (1990) foi investigada a transmissão da frequência fundamental da fala por um estimulador vibro-tátil de um canal, para aplicação no auxílio à leitura labial, em um contexto no qual havia variação da frequência do sinal de estimulação vibro-tátil em função da frequência fundamental do locutor. Como a faixa de frequências perceptíveis pela estimulação vibro-tátil não é a mesma da frequência fundamental da voz humana, é preciso que a frequência fundamental seja transladada para uma faixa de frequências adequada para estimulação vibro-tátil. Segundo mostrado em BERNSTEIN *et al* (1989) as transformações linear e logarítmica, que transformam a frequência fundamental detectada em uma frequência na faixa de estimulação vibro-tátil, são as mais adequadas para estimulação vibro-tátil. A Figura 3.14 ilustra essa transformação. Em BARROS (2004) foram utilizadas a transformação linear e a transformação logarítmica, e ele incluiu as transformações quadrática e cúbica em seu trabalho, além de sugerir o uso da transformação LinearMod, que é uma variação da transformação linear. Essas transformações são apresentadas nas equações de (3.1) a (3.5), para os tipos linearMod, linear, logarítmica, quadrática e cúbica, respectivamente.

$$F(t) = F_c + abs([P(t) - P_a] * S) \quad (3.1)$$

$$F(t) = F_c + [P(t) - P_a] * S \quad (3.2)$$

$$F(t) = F_c + \left[\ln \frac{P(t)}{P_a} \right] * S \quad (3.3)$$

$$F(t) = F_c + [P(t) - P_a]^2 * S \quad (3.4)$$

$$F(t) = F_c + [P(t) - P_a]^3 * S \quad (3.5)$$

Em que:

$P(t)$	_____	frequência fundamental ou <i>pitch</i> de voz, que varia de P_1 a P_2 P1 e P2 são os limites inferiores e superiores de pitch da voz
$F(t)$	_____	frequência do pulso tátil, equivalente a P(t), que varia de F1 a F2 F1 e F2 são os limites inferiores e superiores na escala tátil.
P_a	_____	frequência fundamental de voz alvo ou padrão. Este valor deve ser estabelecido pelo terapeuta em função do perfil do voluntário
F_c	_____	frequência alvo do pulso tátil, equivalente a P_a
S	_____	Fator de escala

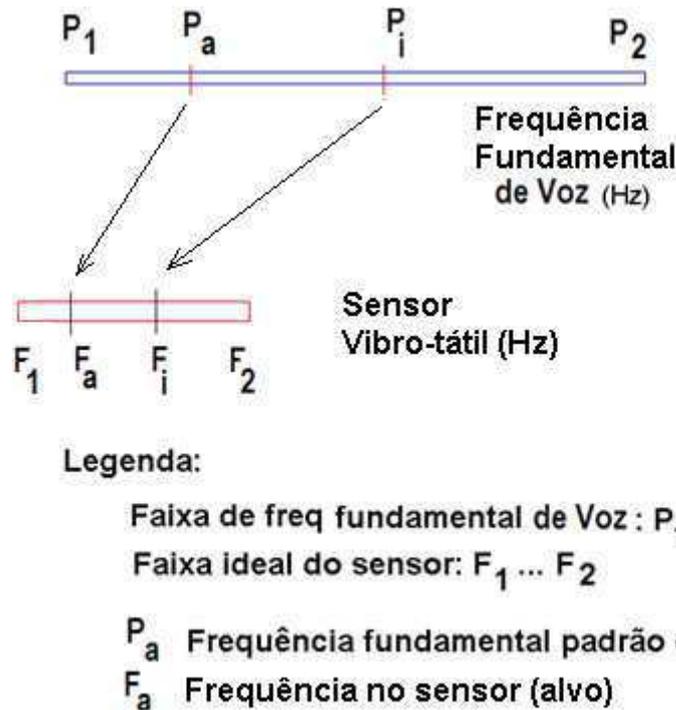


Figura 3- 14 Translado da faixa de frequência fundamental da voz para a faixa de frequência tátil

Pode-se observar nas Eqs. (3.1 – 3.5) que quando $S = 0$, $F(t) = F_c$, ou seja, independente do valor do *pitch* da voz, o sensor vibro-tátil vibrará com a frequência F_c . Quando $S = S_{max}$, $F(t)$ terá a maior faixa de variação, em função do valor da frequência fundamental estimada, $P(t)$, caracterizando o grau de menor dificuldade do exercício. Em BARROS (2004), são apresentados os valores de S , de forma a transladar toda a faixa de frequências (P_1 a P_2) na escala de frequência tátil (F_1 a F_2), conforme apresentado na Tabela 3.8. A cada estimativa de frequência fundamental de voz P_i corresponde uma frequência tátil F_i na escala transladada.

Os limites da faixa de frequência fundamental de voz ou *pitch* (P_1 e P_2) devem ser estabelecidos pelo terapeuta, e informado para o sistema, após uma avaliação inicial do voluntário e levando em consideração algumas medidas iniciais de *pitch* e o seu grau de surdez inicial. Para cada *pitch* estimado haverá uma frequência correspondente na escala tátil, cujo valor dependerá da transformação adotada.

Os limites da faixa da escala tátil devem ser escolhidos de forma a estar na faixa de especificação do estimulador vibro-tátil, bem como, na faixa na qual a pessoa tenha a maior discriminação tátil, que no caso é de 10 a 100 Hz (SADATOA *et al*, 2004).

O valor da frequência tátil F_c deve corresponder ao valor da frequência fundamental alvo correspondente na escala de frequência fundamental de voz transladada para

a escala tátil. Como os voluntários surdos têm uma predisposição de falar com uma frequência fundamental sempre acima do padrão, significa dizer que o valor das frequências fundamentais estimadas, quando transformado para a escala tátil, em geral, deverá ser maior que F_c .

Tabela 3- 8 Fator de ajuste proposto para S

Tipo de Transformação	S	
	$P_i < P_a$	$P_i > P_a$
LinearMod	$\frac{-F_2 + F_c}{P_1 - P_a}$	$\frac{F_2 - F_c}{P_2 - P_a}$
Logarítmica	$\frac{F_1 - F_c}{\ln(P/P_a)}$	$\frac{F_2 - F_c}{\ln(P/P_a)}$
Quadrática	$\frac{F_2 - F_1}{(P_1 - P_a)^2}$	$\frac{F_2 - F_1}{(P_2 - P_a)^2}$
Cubica	$\frac{F_1 - F_c}{(P_1 - P_a)^3}$	$\frac{F_2 - F_c}{(P_2 - P_a)^3}$
Linear	$\frac{F_1 - F_c}{P_1 - P_a}$	$\frac{F_2 - F_c}{P_2 - P_a}$

Desta forma, para aproveitar a faixa ótima do atuador vibro-tátil pode-se definir o valor de F_c próximo ao limite inferior da escala tátil. No experimento, como $F_1=10$ Hz (limite inferior da escala tátil), foi adotado $F_c = 10$ Hz para a transformação quadrática e $F_c=20$ Hz para as demais transformações. Como a estimação do pitch da voz (frequência fundamental) depende de vários fatores, pode ocorrer que, em um determinado trecho da voz, o pitch do voluntário esteja abaixo do padrão, em especial para os voluntários com pequena deficiência auditiva. Neste caso, a frequência equivalente na escala tátil, pode ficar a esquerda de F_c ($F_i < F_c$). Entretanto já no caso da transformação quadrática e da transformação linearMod, dado pelas equações (3.4) e (3.1), o valor na escala tátil sempre estará a direita de F_c ($F_i > F_c$). Nas Figuras 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19 são apresentados gráficos simulados para cada uma das transformadas. Para todas as simulação foi considerado um pitch alvo de 120 Hz, equivalente a um homem adulto, e uma frequência tátil alvo correspondente ao pitch alvo de 20 Hz. Os limites da faixa de pitch adotada foram de 50 Hz (P_1) a 600 Hz (P_2), e os limites da faixa de frequência do sensor tátil de 10 Hz (F_1) a 100 Hz (F_2).

Em seu trabalho, BARROS(2004), fez algumas simulações em ambiente MATLAB, com parâmetros fictícios para a frequência fundamental da voz ($P_a = 0,5$ (alvo), $p_1=0,4$, $p_2=1$), e apresentou a transformação quadrática como sendo a de melhor desempenho.

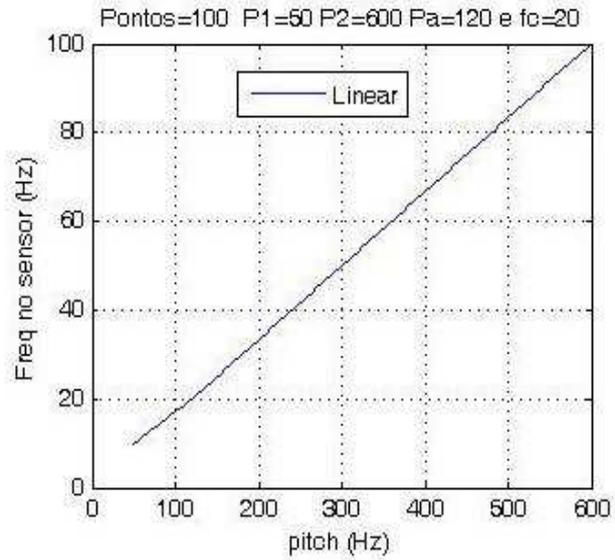


Figura 3- 15 Transformação linear

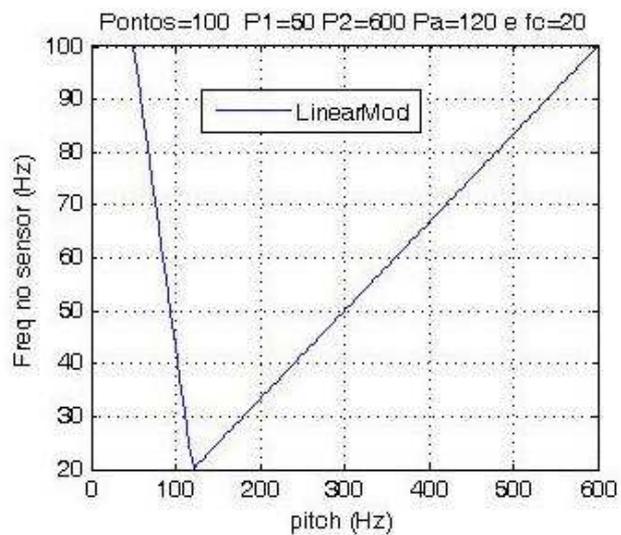


Figura 3- 16 Transformação linearMod

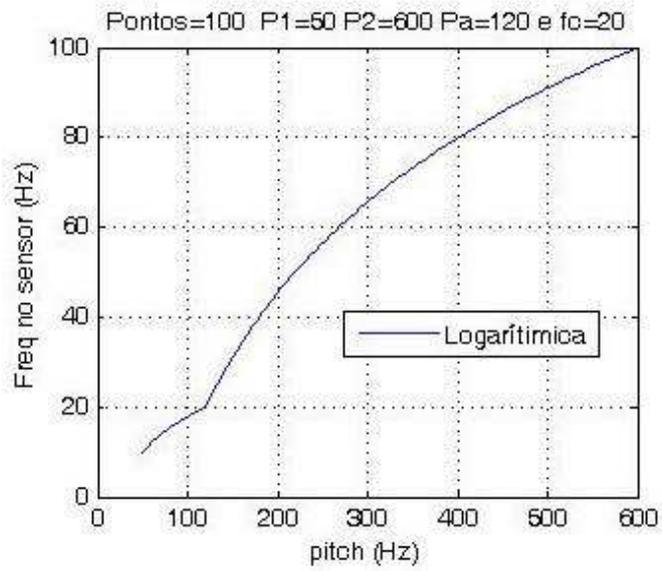


Figura 3- 17 Transformação Logarítmica

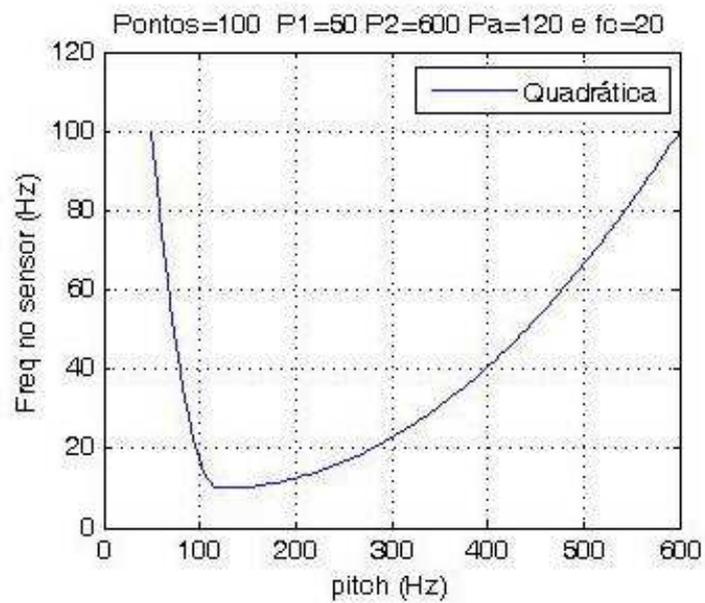


Figura 3- 18 Transformação quadrática

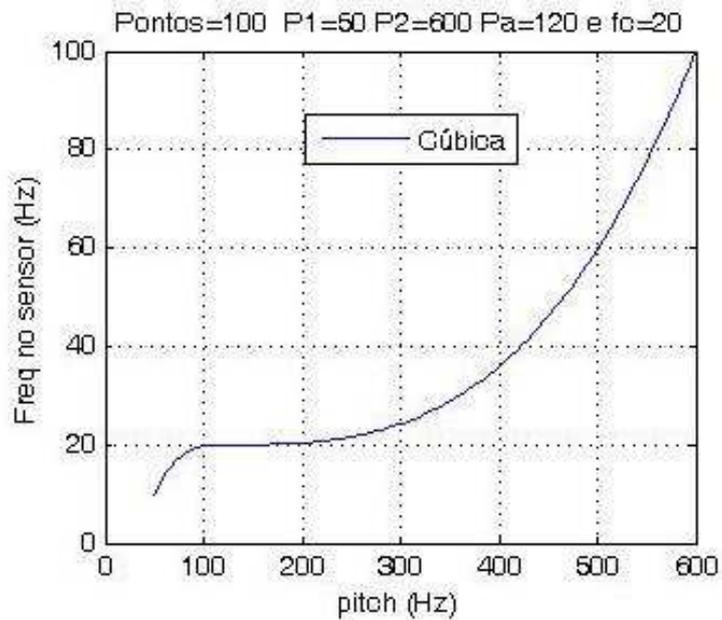


Figura 3- 19 Transformação cúbica

Os gráficos das transformadas quadráticas e cúbicas concentram uma maior resposta tátil entre 10 e 40 Hz, correspondente a frequência fundamental da voz, entre 80 a 400 Hz. Nesta faixa, encontra-se a frequência fundamental da maioria dos deficientes auditivos. Isto significa que esta maioria de pontos será transladada para uma faixa tátil onde a discriminação da frequência tátil é melhor percebida. Como os deficientes falam sempre com uma frequência fundamental acima do alvo, a parte a esquerda de P_a dos gráficos não tem muito significado.

No capítulo seguinte serão apresentados resultados de uma investigação do uso de um sistema em tempo real que utiliza estas transformações com finalidade de avaliar qual delas propícia melhor taxa de acerto ou melhor desempenho.

3.7 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre estimulação tátil, sobre as camadas da pele dos indivíduos, sobre os parâmetros de percepção vibro-táteis e as tecnologias utilizadas na construção destes dispositivos. Também foram apresentados os

resultados de uma investigação sobre a sensibilidade tátil dos dedos da mão, em função da faixa das frequências de vibração do estimulador vibro-tátil, para indivíduos com perfis diversificados. Em seguida, foram apresentadas algumas alternativas para codificações de voz em sinais vibro-táteis. Estas codificações, realizadas por transformadas, são utilizadas para permitir uma correspondência entre um valor da frequência fundamental da voz e um valor de frequência tátil, em uma faixa reduzida de frequência. Estas transformadas possibilitam o translado da faixa de frequência fundamental da voz para outra faixa de frequência, onde a sensibilidade tátil é melhor percebida pelo indivíduo.

No capítulo seguinte será apresentada a descrição do hardware e do software do sistema para correção da frequência fundamental da voz. O sistema permite ajustes de várias variáveis, bem como, a escolha de diversos algoritmos para codificação da frequência fundamental de voz em frequência tátil, como também a escolha de algoritmos para estimação da frequência fundamental de voz.



Sistema de Correção da Frequência Fundamental

4 – SISTEMA DE CORREÇÃO DA FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL

Para a avaliação das transformações descritas no Capítulo 3, que fazem o mapeamento da frequência fundamental da voz em um valor de frequência correspondente, na faixa de frequência tátil, foi desenvolvido o sistema cujo diagrama em blocos está ilustrado na Figura 1.1. Neste capítulo serão descritos este sistema e os resultados da investigação da correção da frequência fundamental, com um grupo de voluntários. O sistema é formado pelos equipamentos (hardware) e softwares que serão descritos a seguir.

4.1 ELEMENTOS DE HARDWARE

O hardware do sistema proposto é constituído por:

- um notebook, com 2 GB de memória, HD de 250 GB, processador Dual Core 1,8 GHz, sistema multimídia, 03 conexões USB e sistema operacional Windows XP;
- um gerador de sinais;
- um microfone;
- um atuador vibro-tátil, modelo AEC TACTAID VBW32 (Figura 3.5);
- um adaptador USB-serial; e
- fontes de alimentação para o notebook e para o gerador de sinais.

4.1.1 Gerador de sinais

O gerador de sinais mantém um sinal padrão em sua saída uma onda quadrada de frequência F_c , para acionamento do atuador vibro-tátil, enviado pelo software que executa no notebook no início do treinamento. Este sinal é sobreposto por outro sinal, com frequência diferente, a cada estimativa da frequência fundamental da voz, conforme esteja ocorrendo o

treinamento. O voluntário percebe a diferença das vibrações do atuador, colocado na ponta do dedo indicador (sensibilidade tátil).

O controle da entonação será possível através da aquisição da fala do indivíduo no microfone e da realimentação em forma de vibração em seu dedo indicador, escolhido aleatoriamente, conforme ilustrado na Figura 1.1. O gerador comunica-se serialmente com o computador, onde está instalado o software principal que gerencia o treinamento. No sistema ocorre a captação da voz pelo microfone, o processamento e o envio para o gerador. A base de tempo utilizada para geração do sinal no atuador é uma rotina de interrupção de 10 μ s do microcontrolador do gerador, que usa um cristal de 20 MHz. Este procedimento possibilita uma resolução de uma casa decimal, na faixa de operação do atuador vibro-tátil, que atende ao experimento. Os algoritmos utilizados para a comunicação serial, a rotina de atendimento a interrupção do gerador de sinais e o programa principal do gerador podem ser vistos nas Figuras 4.1 e 4.2, respectivamente. O gerador possui as seguintes conexões físicas: um conector para o módulo de alimentação elétrica que já envia um sinal contínuo, uma conexão para o cabo para comunicação serial, padrão RS232, e uma conexão para o cabo do atuador vibro-tátil. Existe também o adaptador USB-Serial para o notebook. Na Figura 4.3 é apresentada a foto do gerador de sinais. O detalhamento do hardware do gerador é apresentado em anexo.

4.1.2 Protocolo de comunicação entre o computador e o gerador de sinais

O gerador de sinais fica sempre aguardando um byte ser enviado pelo notebook pela porta de comunicação serial, e quando acontece, faz a leitura dos bytes seguintes até encontrar o byte “terminador”, e depois, monta a mensagem enviada, conforme Tabela 4.1. Todo byte lido é retransmitido na serial, para confirmar ao transmissor a sua leitura.

Tabela 4- 1 Protocolo de comunicação serial

Mensagem	Significado
A9999	Frequência alvo, onde 9999 representam o valor da frequência (x 10). Se zero, indica fim do treinamento.
F9999	Frequência para sobrepor (x10)
T999	Tempo para sobreposição, onde 999 representam o valor em segundos.
13	Caractere terminador adotado, que indica fim da transmissão da <i>string</i> .

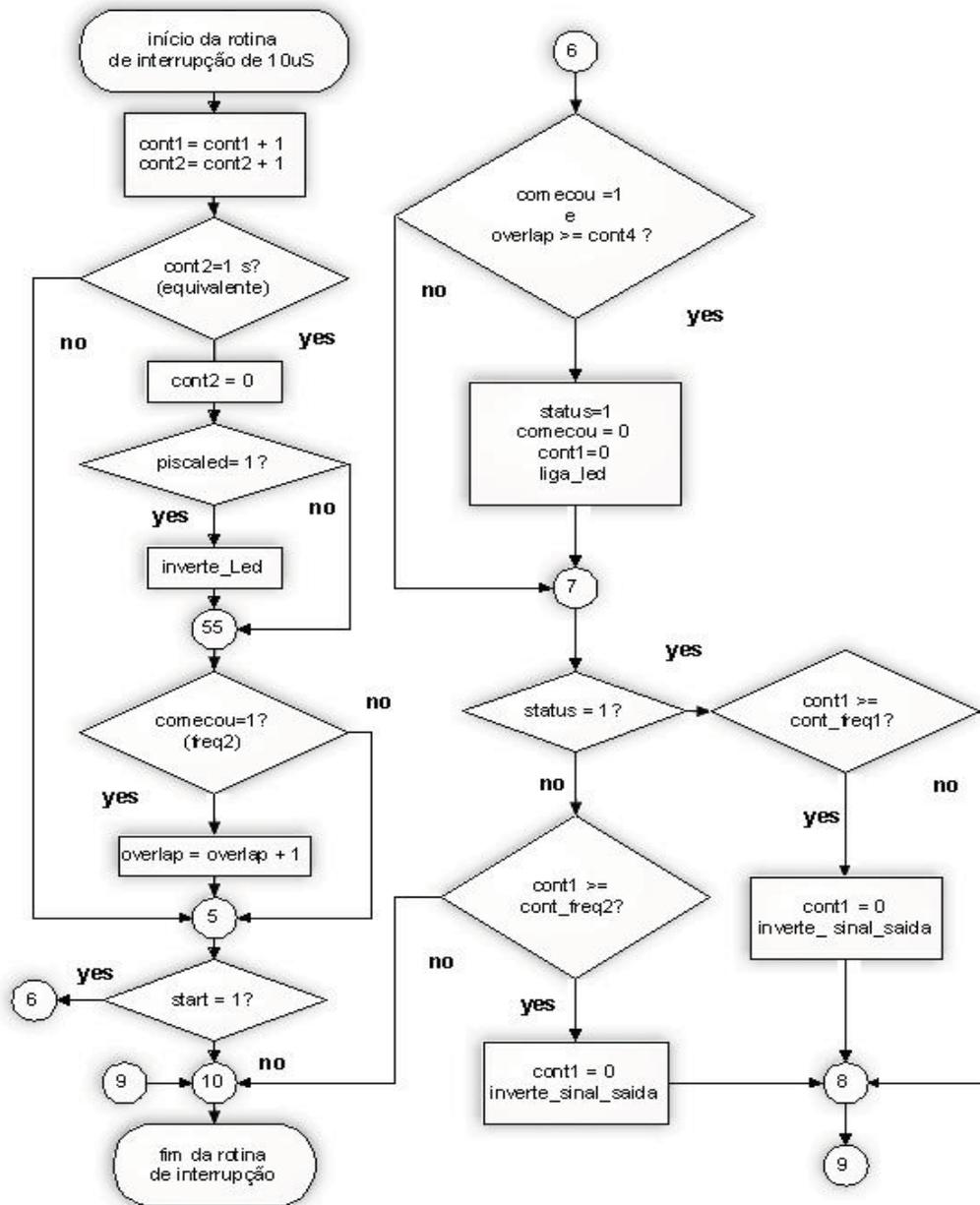


Figura 4- 1 Rotina de atendimento a interrupção no gerador de sinais

A mensagem válida para comunicação serial deve iniciar com os caracteres {A, F, T}. Para os dois primeiros casos (“A” ou “F”) da tabela, o número formado por 4 dígitos numéricos representa o valor da frequência do sinal a ser gerado, seja ela, a frequência padrão (“A”), correspondente a F_c , ou a frequência instantânea (“F”) para sobrepor o sinal padrão, com frequência F_c . Para o caso, quando o primeiro caractere for “T”, o número formado por 3 dígitos numéricos, representa o tempo para sobreposição do sinal, ao sinal padrão. O sistema deve enviar inicialmente o tempo de sobreposição e o valor de F_c , antes de iniciar o

treinamento. A frequência de sobreposição é enviada pelo sistema durante todo o treinamento. O gerador de sinais, quando recebe uma nova frequência de sobreposição, deixa de gerar o sinal padrão, e passa a gerar o novo sinal com a frequência recebida, por um período de tempo correspondente ao tempo programado previamente (T999). Uma vez, encerrado o tempo de sobreposição, o gerador volta a gerar o sinal padrão com frequência F_c , até chegar outra frequência de sobreposição.

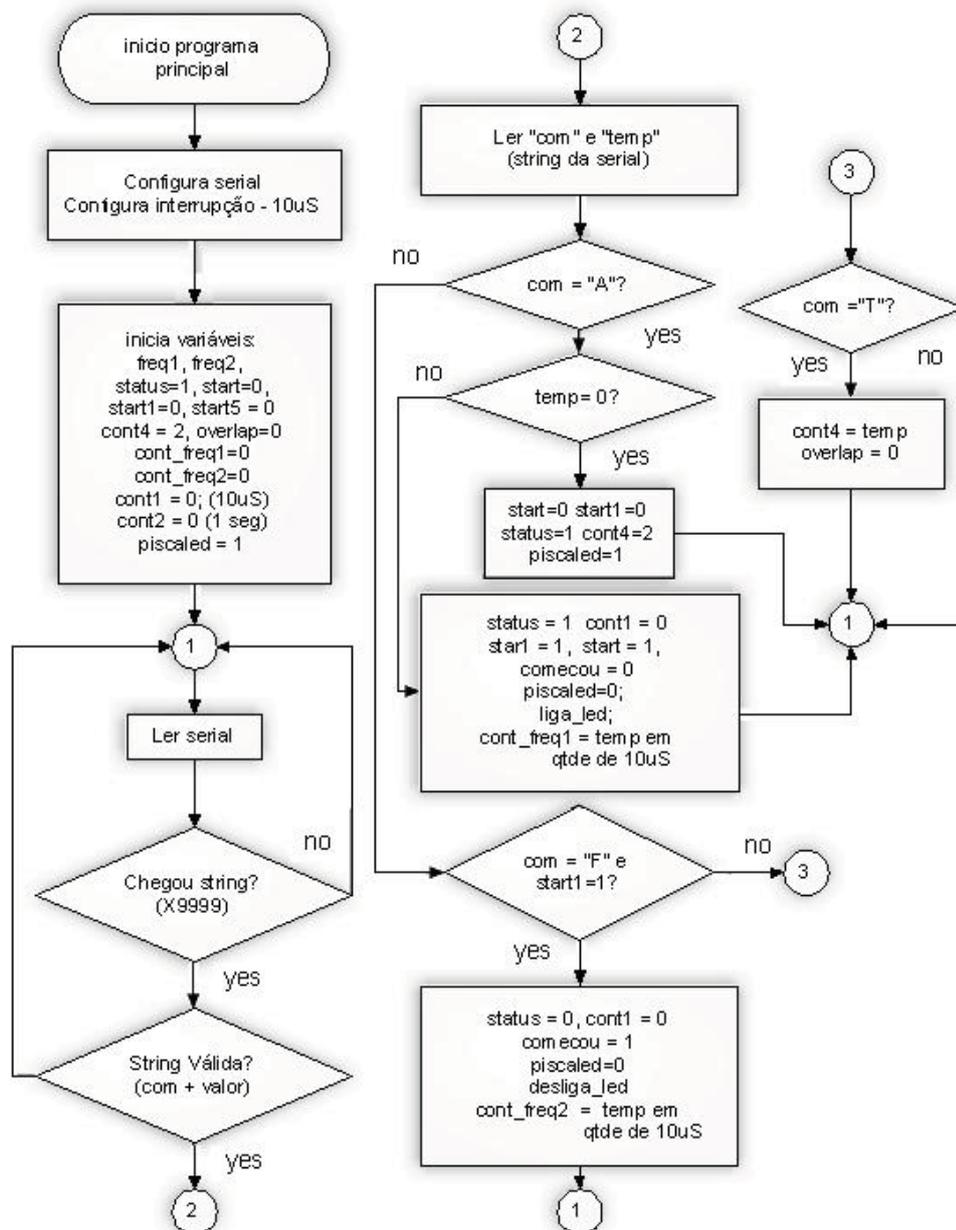


Figura 4- 2 Módulo do sistema responsável pela comunicação com o gerador de sinais



Figura 4- 3 Gerador de sinais

O programa principal do gerador inicia as variáveis do sistema: configura a comunicação serial, programa a interrupção a cada 10 μ s, inicializa as variáveis *default* (Exemplo: se não for enviado o tempo de sobreposição, será adotado 2 s), verifica consistência de dados recebidos pela serial, e por último, atende a interrupção a cada 10 μ s. No anexo I é detalhado o diagrama eletrônico da placa do gerador de sinais.

4.2 ELEMENTOS DE SOFTWARE

Para desenvolver um sistema em tempo real com o objetivo de captar e extrair parâmetros de voz, bem como processar e gerenciar a comunicação com o gerador de sinais, foi escolhida uma ferramenta de software de desenvolvimento amigável e de boa portabilidade.

O sistema envolve etapas que vão desde a aquisição do sinal de voz, passando pela implementação de filtros, módulo de comunicação serial, cálculo da FFT e estimativa de *pitch*. Estes fatores influenciam no tempo de desenvolvimento, no desempenho e na exatidão dos resultados e exigem um software de desenvolvimento que possua as qualidades de rapidez e precisão nas diversas tarefas inerentes ao sistema.

Devido a esse fato, desenvolver um sistema com estas características torna-se uma tarefa árdua em linguagens como o C/C++, pois cada algoritmo tem que ser programado individualmente, aumentando o tempo de desenvolvimento e a possibilidade de pequenos erros de programação (bugs) que podem levar a resultados errados e comprometer a qualidade do sistema.

Existem vários softwares de desenvolvimento com ferramentas pré-programadas. Um dos que mais se destaca na área de engenharia é o MATLAB®, que possui módulos específicos para a maioria das áreas de engenharia e sistemas. Trabalhamos com a versão R14, Service Pack 3, e utilizamos funções específicas para tratamento de sinais de voz já embutidas em seus pacotes nativos.

O sistema foi desenvolvido em ambiente gráfico, cuja tela inicial pode ser vista na Figura 4.4, e estruturado com os seguintes módulos:

- (a) Módulo para Avaliação Inicial das Características da Voz do Voluntário;
- (b) Módulo de Configuração do Sistema;
- (c) Módulo de Treinamento;
- (d) Módulo de Correção da Frequência Fundamental; e
- (e) Módulo de Ajuda.

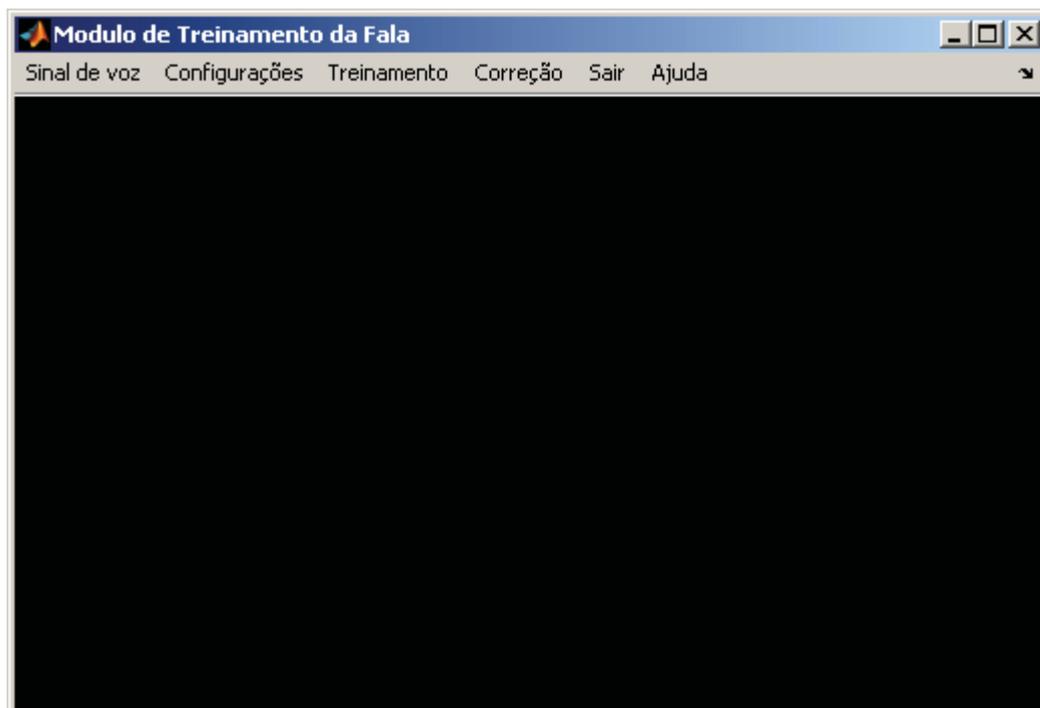


Figura 4- 4 Tela entrada do Sistema.

O primeiro módulo foi concebido para fazer a avaliação inicial do pitch do voluntário. Este módulo permite a captação de um sinal da voz do voluntário, a gravação da voz, a audição de um trecho de voz e a estimulação do *pitch*. Na Figura 4.5 podem ser vistas as opções para este módulo. Na Figura 4.6 pode ser visto o resultado da avaliação do pitch de um trecho de voz. Para cada janela é estimado o valor de pitch e, quando este valor é zero, significa que, na janela, não existe sinal sonoro periódico.



Figura 4- 5 Avaliação inicial do voluntário

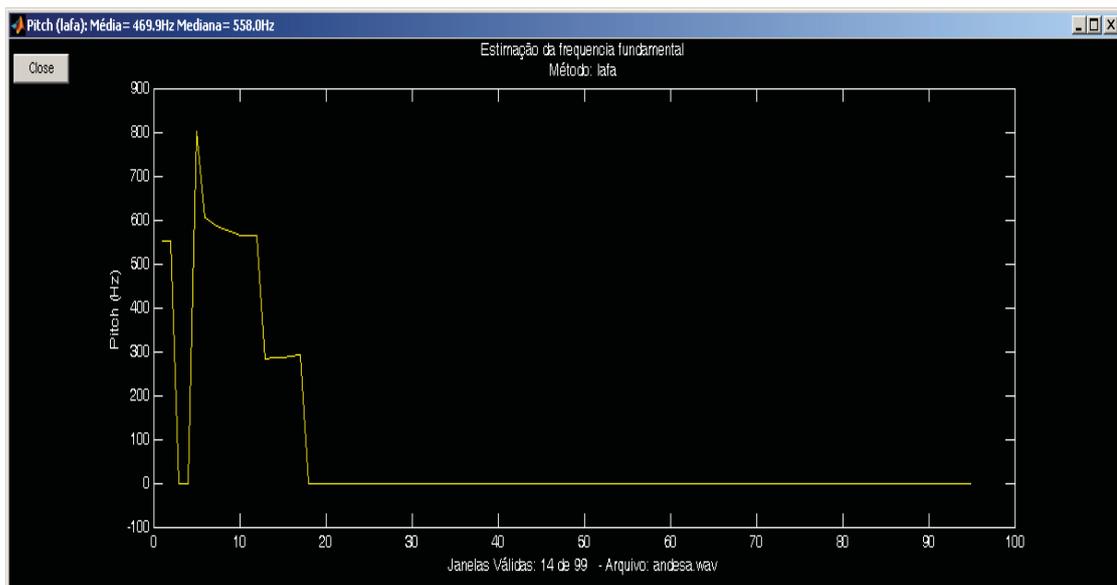


Figura 4- 6 Resultados da avaliação do pitch de um trecho de voz

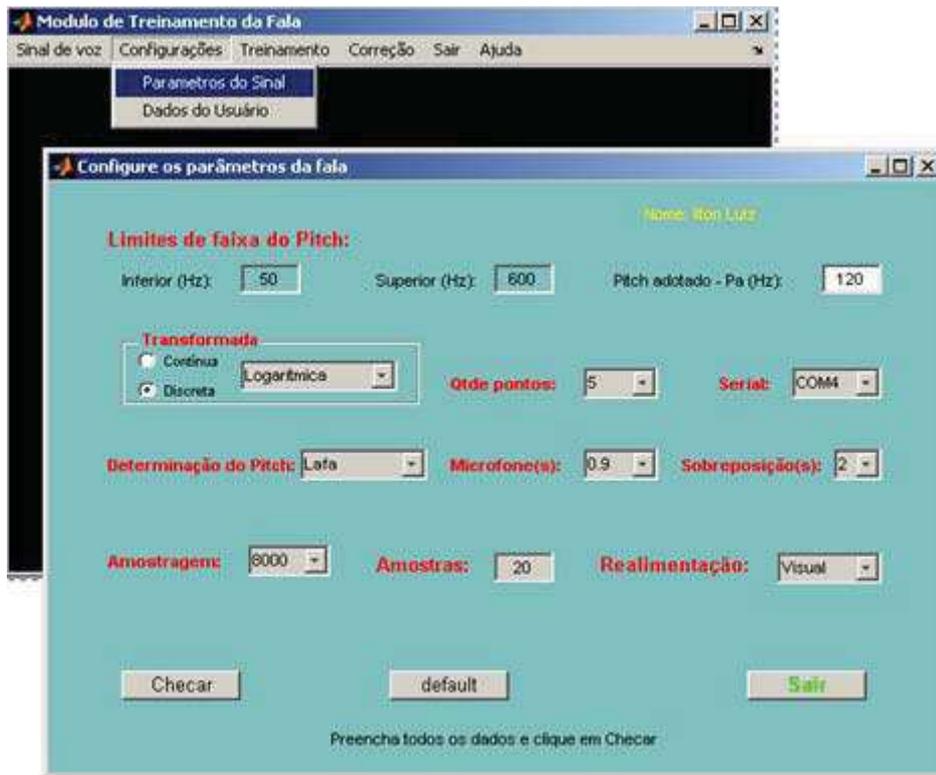


Figura 4- 7 Módulo 2 - configurações dos parâmetros do sinal

O segundo módulo foi concebido para captar parâmetros de configuração do sinal, antes do início do processo de correção da frequência fundamental. Neste módulo, o avaliador estabelece os limites de faixa de *pitch*, o valor do *pitch* alvo, e a transformada que será utilizada durante o processo de correção ou jogo.

Na Figura 4.7 está ilustrada a tela para entrada de alguns parâmetros utilizados pelo sistema:

- (a) taxa de amostragem para captação da voz no microfone;
- (b) quantidade de tentativas por seção (amostras);
- (c) tipo de realimentação;
- (d) tempo de captura do sinal de voz pelo microfone;
- (e) tempo de sobreposição a ser adotado pelo gerador de sinais;
- (f) porta para comunicação serial; e
- (g) quantidade de pontos utilizados para discretização dos pontos nas escalas, que será usado para computação dos acertos no processo de treinamento.

Neste módulo também são captados os dados pessoais do voluntário, que são: nome, idade, sexo, endereço de contato, grau de escolaridade, tipo e grau da deficiência, além

de outros dados relativos à deficiência. Todos estes dados de configuração são gravados juntos com os resultados de cada sessão de correção da frequência fundamental ou jogo, no mesmo arquivo.

O módulo de treinamento é muito parecido com o módulo de correção, com um diferencial na parte de realimentação visual, para facilitar o treinamento do voluntário na aprendizagem da frequência fundamental. O módulo de correção é o módulo responsável pela realimentação vibro-tátil em tempo real da estimação do pitch transladado para a escala tátil.

Na Figura 4.8 é apresentada a interface do módulo de correção da frequência fundamental. Para o voluntário, o objetivo é obter o maior número de acertos no alvo. As primeiras linhas da tela mostram os dados referentes aos parâmetros para processamento, bem como a identificação do voluntário. Para alterar estes valores é necessário acessar o módulo 2, por meio do menu principal. Para iniciar, clica-se no botão “sentir alvo”, para enviar a frequência alvo e, também, checar a comunicação serial com o gerador de sinais. Feito isso, basta clicar no botão “iniciar” e neste momento o voluntário pode começar a falar no microfone.



Figura 4- 8 Módulo de correção da frequência fundamental

A duração de cada sessão é determinada pela quantidade de tentativas estabelecidas para acertar a frequência alvo. Em relação à quantidade de tentativas, pode ser alterada no campo *amostras* na tela mostrada na Figura 4.7 ou (b) pode ser livre, quando digitado 999. Para este último caso, após a última tentativa, o avaliador deve clicar no botão “parar” para encerrar a sessão. Ao final de cada sessão será gravado um arquivo com todos os

parâmetros envolvidos no processo: o tempo da sessão, os valores estimados de *pitch*, os valores transladados na escala tátil e o erro em relação ao *pitch* alvo. No final de cada sessão também são apresentados os escores finais de acertos na tela, bem como gráficos de desempenho durante toda a sessão. Na Figura 4.9 está ilustrado um gráfico típico que é apresentado ao final de uma sessão com 20 tentativas (*default*), em que o *pitch* alvo foi de 120 Hz e a média alcançada durante a sessão foi de 152,5 Hz.

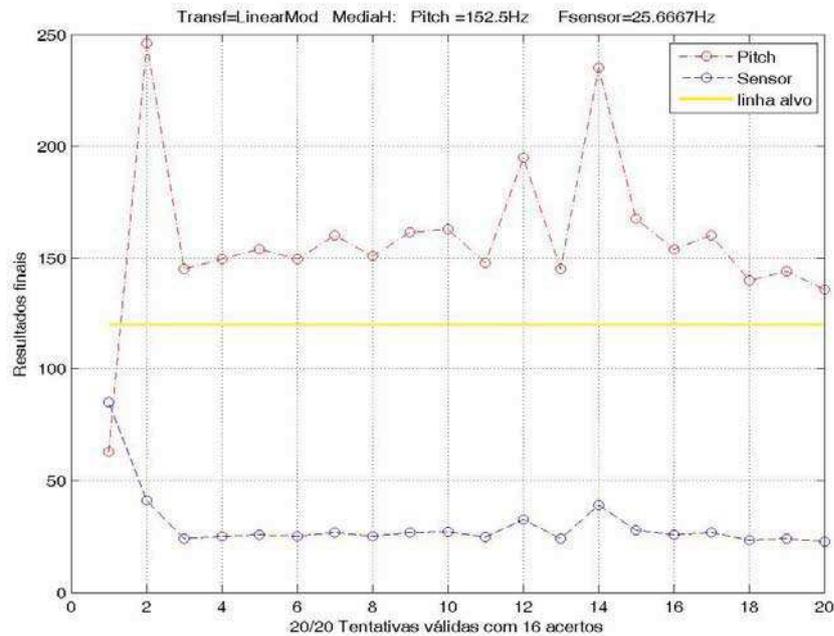


Figura 4- 9 Gráfico apresentado pelo sistema ao final de cada sessão de correção

4.2.1 Relatórios do sistema

Ao final de cada sessão de correção são gravados, para cada transformação, quatro arquivos, nos formatos texto (.txt), excel (.xls), figura (.jpg) e formato matlab (.mat). Os nomes dos arquivos seguem o seguinte padrão:

j1_20090128__192824a_nome_voluntario.xls

Os dois primeiros caracteres definem o tipo de transformação: j1 a j5, correspondendo, respectivamente, a LinearMod, Logarítmica, Quadrática, Cúbica e Linear. Os

próximos oito caracteres referem-se à data da gravação do arquivo, no caso do exemplo, refere-se a 28 de Janeiro de 2009. Os próximos 8 caracteres referem-se à hora de encerramento do experimento ou sessão do jogo. E o restante corresponde ao nome do voluntário.

O arquivo no formato .jpg apresenta um resumo dos dados coletados, conforme ilustrado na Figura 4.9. Os demais arquivos contêm todos os dados captados durante o experimento, inclusive os parâmetros escolhidos inicialmente. O arquivo criado no formato Excel contém dados necessários para posterior tratamento estatístico no Excel, com possibilidade de serem importados diretamente para ferramentas como o SPSS®, para tratamento estatístico, que foi utilizada neste trabalho. Na Figura 4.10 é apresentado o conteúdo do arquivo texto gerado.

```

j1_20090128__192824a_Alberto Walter Porto de Menezes.txt
Nome do arquivo (data e hora) j1_20090128__192824a_Alberto Walter Porto de Menezes
Nome: Alberto Walter Porto de Menezes
Sexo: 1
Idade: 32
Contato: Niessia mae 87088506
Tipo de deficiencia: 1
Perda: 1 com 0 anos
Grau: 3 Tipo 4
Aparelho: 3
Tempo de terapia: 3
Escolaridade: 1
Tempo de amostragem no sensor: 2
Transformada (Cont ou D/ transf) 2 1
Metodo para estimativa do pitch: 3
Quantidade de pontos adotados: 5
Alvos (Pa/Pax/fa/fax): 120 20 20
Faixas (pitch/sensor): 50 600 10 100
Pitch estimado (Mediana / MediaH): 152.5 152.5
Freq. no sensor (Mediana/MediaH): 25.6667 27.5071
Erro de Pitch:27.08 Taxa de amostragem: 8000
Realimentacao: 2
Tentativas válidas 20 20 16
Duração (microfone / sessao) 0.9 50.219

=====
Pitch: real-dicot / Sensor: real-dicot / acertou / erro
=====
Tentativa: 1 63.0 50.0 85.1 100.0 0 -47.5
Tentativa: 2 246.0 216.0 41.0 36.0 0 105.0
Tentativa: 3 145.0 120.0 24.2 20.0 1 20.8
Tentativa: 4 149.5 120.0 24.9 20.0 1 24.6
Tentativa: 5 154.0 120.0 25.7 20.0 1 28.3
Tentativa: 6 149.5 120.0 24.9 20.0 1 24.6
Tentativa: 7 160.0 120.0 26.7 20.0 1 33.3
Tentativa: 8 151.0 120.0 25.2 20.0 1 25.8
Tentativa: 9 161.5 120.0 26.9 20.0 1 34.6
Tentativa:10 163.0 120.0 27.2 20.0 1 35.8
Tentativa:11 148.0 120.0 24.7 20.0 1 23.3
Tentativa:12 195.0 216.0 32.5 36.0 0 62.5
Tentativa:13 145.0 120.0 24.2 20.0 1 20.8
Tentativa:14 235.0 216.0 39.2 36.0 0 95.8
Tentativa:15 167.5 120.0 27.9 20.0 1 39.6
Tentativa:16 154.0 120.0 25.7 20.0 1 28.3
Tentativa:17 160.0 120.0 26.7 20.0 1 33.3
Tentativa:18 140.0 120.0 23.3 20.0 1 16.7
Tentativa:19 144.0 120.0 24.0 20.0 1 20.0
Tentativa:20 136.0 120.0 22.7 20.0 1 13.3

-----
Valores dicotomizados: pitch / freq sensor
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Valor 1: 50.0 100.0
Valor 2: 85.0 60.0
Valor 3: 120.0 20.0
Valor 4: 216.0 36.0
Valor 5: 312.0 52.0
Valor 6: 408.0 68.0
Valor 7: 504.0 84.0
Valor 8: 600.0 100.0
=====

```

Figura 4- 10 Arquivo final no formato txt

4.2.2 Parâmetros padrões do sistema

Como um dos objetivos deste trabalho é comparar resultados para cada transformação, é necessário também que alguns parâmetros estabelecidos sejam os mesmos para todos os experimentos. Desta forma, foram fixados ou adotados alguns destes parâmetros conforme pode ser visto na Tabela 4.2.

O sistema apresenta uma interface gráfica que permite ao terapeuta escolher e adequar diversos parâmetros ao perfil do usuário, bem como as características de melhor desempenho para o experimento. Um exemplo seria a taxa de amostragem para captura do sinal de voz no microfone. Para esta taxa, a opção *default* é de 8000 amostras por segundo, embora exista a possibilidade de escolher entre 8000, 11025, 16000, 22050 e 44100 amostras por segundo. Se o terapeuta não definir esta taxa, o sistema adotará o valor *default* de 8000.

Tabela 4- 2 Parâmetros *default* do sistema

Parâmetro	Descrição
$T_x = 8000$ samples/s	Taxa de captura de voz no microfone
$F_1 = 10$ Hz $F_2 = 100$ Hz	Limites adotados para faixa tátil
$T_a = 0.9$ s	Duração da captura da fala
$T_b = 2$ s	Tempo de sobreposição do sinal vibro-tátil instantâneo ao sinal padrão (F_c) no atuador
$P_t = 8$	Quantidade de pontos para discretização para verificar taxas de acertos no jogo
$Feedback = 2$	Tipode realimentação para o voluntário, no caso, tátil. Pode-se escolher também visual e visual + tátil.
$Method = 3$	Escolha do método de estimativa do <i>pitch</i>
$Samples = 20$	Quantidade de tentativas para cada sessão do jogo
P_1, P_2 e P_a	Limites escolhidos para o pitch e pitch alvo
$Baud = 19200$ bps	Velocidade de comunicação serial com o gerador de sinais
$F_c = F_a$	Frequência no atuador equivalente quando: $P(t) = P_a$. $F_c = 10$ (para transformação quadrática) $F_c = 20$ (para as demais transformações)

4.2.3 Considerações sobre a rotina de captura da voz

Uma atenção especial foi dada a esta rotina do software, para que a captura de voz só venha a acontecer a partir de um nível mínimo de intensidade da voz, captada próximo ao microfone, permitindo o ajuste dos parâmetros do sistema às características de ganho e sensibilidade do microfone. A Figura 4.11 apresenta a listagem do código-fonte desta rotina. O valor da variável global *mic_TriggerConditionvalue*, nas linhas 6 e 28, pode ser ajustado empiricamente em função do tipo de microfone e, também, em função do nível de ruído no ambiente onde deve ocorrer o experimento. Essa característica é possível devido à declaração *{try / catch}* nas linhas 40 e 42, que fica em um laço aguardando o objeto *ai* - que gerencia a entrada do som - atingir a sua condição de disparo. Esta rotina retorna no vetor *ddd* os valores captados no microfone.

```

1 function ddd = microphone(baudrate1, channel1, bits, duration)
2 % Date: Dez / 2007 ,
3 % Author: Ilton Barbacena
4 % versão do Matlab: 7.1
5 global var % when button to stop or exit, will be pressured
6 global mic_TriggerConditionvalue % sensitivity microphone
7
8 ddd = []; % return data
9 if (var == 99) | (var == 0) % button to stop or exit
10 return; % to leave will be pressured
11 end
12 ai = analoginput('winsound');
13 if not isempty(ai)
14 stop(ai);
15 delete(ai);
16 clear ai
17 ai = analoginput('winsound');
18 end
19 chan = addchannel(ai,channel1); % hardware => 1 mono, 2 stéreo
20 Fs = baudrate1;
21 ai.LoggingMode='Memory';
22 set (ai, 'BitsPerSample', bits);
23 set (ai, 'SampleRate', Fs);
24 set (ai, 'SamplesPerTrigger', round(duration*Fs));
25 set (ai, 'TriggerChannel',chan)
26 set (ai, 'TriggerType','Software');
27 set (ai, 'TriggerCondition','Rising');
28 set (ai, 'TriggerConditionValue',mic_TriggerConditionvalue);
29 set (ai, 'Timeout', 15);
30 rates = propinfo(ai,'sampleRate');
31 Fsextremos=rates.ConstraintValue;
32 Fs_=max(Fsextremos(1), Fs);
33 Fs_=min(Fsextremos(2), Fs);
34 start(ai); % begin
35 leu = 0;
36 while (1)
37 if (var == 99) | (var == 0)
38 break;
39 end
40 try
41 data = getdata(ai);
42 catch
43 continue; % wait level
44 end
45 leu=1; % ok
46 break;
47 end
48 if (leu == 1) % level min|
49 while strcmp(ai.Running, 'on')
50 end
51 ddd = data; % ok
52 end
53 stop(ai); delete(ai); clear ai;
54 return

```

Figura 4- 11 Rotina de captura de voz no microfone

4.3 ESTIMAÇÃO DA FREQUENCIA FUNDAMENTAL

A escolha do método para estimação de *pitch* é objeto de muitas pesquisas na área de processamento de sinais e de reconhecimento de voz, devido às características de não estacionalidade da voz para longos períodos de captura. Não existe nenhum algoritmo para estimação de *pitch* totalmente seguro ou com 100% de acerto (ROUAT *et al*, 1997). Desta forma, a maioria dos trabalhos encontrados procura avaliar o desempenho com base na média ou mediana de valores estimados em um intervalo de tempo, como alternativa para minimização de erros de estimativa.

O aprofundamento sobre este assunto foge ao escopo deste trabalho. Entretanto, foram testados alguns algoritmos conhecidos na literatura e implementados três destes algoritmos. Com isso, o usuário tem a opção de escolher um destes métodos ao iniciar o experimento.

4.3.1 Considerações sobre a escolha do método de estimativa de *pitch*

Dentre os algoritmos de detecção de *pitch* no domínio do tempo, os que foram estudados neste trabalho são baseados na função de autocorrelação do sinal. Exploram o fato de que valores mais altos da função de autocorrelação indicam a presença de segmentos vozeados (ou sonoros), onde ocorre uma maior concentração de energia, com predominância das baixas frequências. Nos sons surdos e nos ruídos de fundo, a função de autocorrelação possui valores menores.

A energia do sinal é um parâmetro muito utilizado para decisão se um segmento é ou não sonoro. Por outro lado, a função de autocorrelação pode ser igualmente utilizada para descartar os segmentos de silêncio. Os limiares que definem se uma janela é ou não sonora, normalmente são escolhidos ajustando-se os seus valores em função do ruído ambiental e da qualidade do microfone, durante a captação do sinal de voz. Ou seja, grava-se um trecho de voz no ambiente de aplicação e identificam-se os quadros de silêncio, sonoros e surdos. Calcula-se a média de várias medidas nestes trechos (energia, autocorrelação e taxa de cruzamento por zeros, entre outros) e estabelecem-se os limiares.

Os sinais vozeados tem uma periodicidade que se traduz por uma “discretização” no domínio da frequência, em harmônicas da frequência fundamental. Os métodos mais utilizados no domínio da frequência baseiam-se na quebra do sinal vozeado em pequenos segmentos, constituindo-se em um janelamento e aplicando-se a transformada rápida de Fourier (STFT) (SONDHI, 1968). Se o sinal é periódico, a transformada de Fourier mostrará picos nos múltiplos da frequência fundamental. O cepstrum é definido como a transformada inversa de Fourier do espectro do sinal, na forma logarítmica. Ou seja, ao sinal original no tempo é aplicada a transformada de Fourier e, em seguida, o espectro é convertido para uma escala logarítmica. Por último, é aplicada a transformada inversa de Fourier.

O cepstrum contém harmônicos da frequência fundamental. Valores baixos de *quefrequency* representam a forma do trato vocal e valores altos representam a excitação, que são os sons vozeados. Como na autocorrelação, o cepstrum é utilizado em janelas consideradas estacionárias. Após a determinação do valor dos coeficientes do cepstrum, o pitch da janela é extraído, por meio de uma comparação com um valor limiar (NOLL, 1967). Se o valor do pico do cepstrum calculado exceder ao valor limiar, o sinal é definido como vozeado e o valor do período de pitch é dado pela posição do pico. Caso contrário, o sinal é definido como não vozeado.

Neste trabalho, foram avaliados quatro algoritmos para estimativa da frequência fundamental. Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados desta avaliação. Os sinais testados são sinais de voz gravados através do microfone do notebook. Também foram captados sinais senoidais puros para aferição e testes dos algoritmos, utilizando-se um gerador de sinais conectado à entrada de áudio do notebook. Nestes testes, foram captados dois segundos do sinal, gravados em arquivo.

Os algoritmos foram utilizados em todos os arquivos. O método1 utiliza autocorrelação, o método2 utiliza a estimação pelo cepstrum, o método3 utiliza a autocorrelação do sinal residual da LPC e o método 4 utiliza a função NCCF. Além dos valores da estimativa de pitch, foi calculado também o tempo de resposta de cada algoritmo.

O primeiro método (método1) para estimativa de pitch é o de autocorrelação com *center-clipping*. Este método é uma variação do método de autocorrelação comum no domínio do tempo, onde se estabelece um valor limiar para o vetor de autocorrelação, objetivando classificar se o segmento se é ou não vozeado (SONDHI, 1968). Se vozeado, o valor do pitch do segmento é estimado por meio da localizado da posição do valor máximo (LOIZOU, 2007).

O segundo método (método2), cepstrum, contém harmônicos da frequência fundamental. Os valores menores representam a forma do trato vocal e os valores maiores representam a excitação. Se o valor de pico do cepstrum exceder a um limiar, o segmento é considerado vozeado e o período de pitch é determinado pela localização deste pico (NOLL, 1967). Os dois primeiros métodos citados estão implementados na ferramenta COLEA (LOIZOU, 2003), de domínio público, disponível para ambiente Matlab®.

O terceiro método (método3) utiliza os coeficientes da função de autocorrelação do resíduo do erro da análise LPC do sinal. Este método também utiliza a avaliação da energia segmental para auxiliar na identificação dos segmentos vozeados (MARKEL, 1976; DURBIN, 1959).

O quarto método (método4) implementa a função conhecida como NCCF (*Normalised Cross-correlation Function*) (RAGHRAM, 2002). Trata-se de um método similar ao primeiro, porém, mais preciso, embora com um custo computacional mais elevado.

Para cada voluntário, foram gravados 3s do sinal de voz captando-se a pronúncia da vogal sustentada “a” e outros 3s do sinal de voz onde o voluntário pronunciava a frase “Brasil, o país do futebol”. A Tabela 4.3 apresenta o resultado dos testes dos algoritmos. Na coluna 1 é apresentado o nome de cada arquivo testado. Os nomes com final “a” referem-se aos arquivos decorrentes da gravação de 3s do sinal de voz da vogal sustentada “a”. Os nomes com final “b” referem-se à gravação da sentença. O número que aparece no nome do arquivo refere-se à idade da pessoa. Pelos resultados da estimativa dos valores de pitch, podemos identificar o sexo da pessoa, no caso de adulto. Para cada método são apresentados o valor da estimativa da frequência fundamental e o tempo de processamento.

Após avaliação dos resultados comparativos entre as performances dos métodos utilizados, o quarto método foi o primeiro a ser descartado, considerando-se principalmente que o mesmo apresentou o maior tempo de processamento. O primeiro método foi descartado por possuir a maior taxa de erro de estimativa. A escolha final ficou entre os métodos 2 e 3. O método 2 é mais rápido, porém possui maior taxa de erro de estimativa, em particular para frequências mais altas.

A escolha, então, recaiu sobre o método 3, que é baseado em DELLER *et al.* (1993; 2000) e Markel (1972; 1976), onde a estimativa de pitch é obtida por meio da filtragem inversa do sinal do erro de predição de LPC (RIBEIRO, 2005).

Tabela 4- 3 Algoritmos avaliados para extração de pitch

Arquivo	sinal	método1		método2		método3		método4	
		Hz	s	Hz	s	Hz	s	Hz	s
104Hz	Tom senoidal	208	0,79	103,5	0,28	103,8	2,33	104	12,11
205hz	Tom senoidal	408,3	0,59	203,2	0,24	204,2	2,24	205,1	10,52
306hz	Tom senoidal	604,1	0,56	302,1	0,22	304,1	2,22	306,3	10,41
430hz	Tom senoidal	428,2	0,58	213	0,23	428,2	2,19	432,4	10,56
adri-26a	Vogal “a”	114	0,82	113,7	0,33	114	3,38	114,2	17,19
adri-26b	sentença	137,4	0,82	118,2	0,33	149,2	3,37	127,1	15,74
alan-25a	Vogal “a”	113,4	0,83	113,1	0,34	113,2	3,38	113,7	15,8
alan-25b	sentença	135,7	0,84	118,5	0,33	139,3	3,36	129,3	16,22
alana-22a	Vogal “a”	239,7	0,88	237,1	0,35	239,7	3,33	241	15,5
alana-22b	sentença	241	0,86	169,6	0,37	231,5	3,49	219,4	15,54
camila-21a	Vogal “a”	179,3	0,83	178,5	0,34	179,3	3,35	180	16,48
camila-21b	sentença	171,6	0,86	126,7	0,35	183	3,37	156,4	15,77
cam1-23a	Vogal “a”	190,9	0,83	190,1	0,33	190,9	3,36	191,7	15,96
cam1-23b	sentença	190,1	0,82	178,5	0,33	202,3	3,36	197,8	15,76
cris-26a	Vogal “a”	96,1	0,81	95,1	0,33	95,7	3,36	95,7	15,7
cris-26b	sentença	109,2	0,82	109,4	0,35	108,9	3,34	104,9	15,85
eline-26a	Vogal “a”	212	0,82	212	0,34	213	3,34	214,1	17,43
eline-26b	sentença	215,1	0,84	91,1	0,33	198,7	3,37	67,8	15,39
eloa-22a	Vogal “a”	190,1	0,82	189,3	0,34	190,1	3,35	190,9	15,65
eloa-22b	sentença	209	0,83	120,8	0,33	202,3	3,34	213	16,13
georg-28a	Vogal “a”	216,2	0,87	215,1	0,35	216,2	3,34	217,2	15,85
georg-28b	sentença	206,1	0,83	179,3	0,33	209,5	3,33	206,1	16,73
guri-23a	Vogal “a”	134	0,86	133,6	0,36	134,5	3,35	134,5	15,95
guri-23b	sentença	441	0,82	128,6	0,33	182,4	3,34	141,8	16,21
ilam-23a	Vogal “a”	61,2	0,85	180	0,35	181,5	3,34	181,5	15,97
ilam-23b	sentença	203,2	0,83	111,4	0,33	196,9	3,36	202,8	15,58
ilton-51a	Vogal “a”	86,1	0,82	85,8	0,35	86	3,35	86,1	16,21
ilton-51b	sentença	122	0,81	101,1	0,33	119,2	3,36	97,2	15,73
jerre-20a	Vogal “a”	130,5	0,81	131,6	0,34	132,8	3,35	132,8	18,05
jerre-20b	sentença	141,1	0,86	125,3	0,35	188,4	3,33	128,2	16,33
manu-18a	Vogal “a”	102,3	0,86	196,9	0,36	198,6	3,34	198,6	15,89
manu-18b	sentença	208	0,77	95,2	0,33	69,9	3,37	60,2	15,36
prisc-21a	Vogal “a”	79,6	0,84	187,7	0,34	202,3	3,39	202,3	15,93
prisc-21b	sentença	196	0,83	138,7	0,34	173,6	3,36	164,9	15,8
robs-27a	Vogal “a”	98,2	0,87	97,8	0,35	98	3,34	98	15,41
robs-27b	sentença	125,6	0,83	118,5	0,33	147,5	3,35	123	16,57
sabi-43a	Vogal “a”	109,7	0,87	109,2	0,35	110	3,34	110	15,78
sabi-43b	sentença	119,5	0,83	119,2	0,33	122,3	3,36	119,5	15,58
sulal-31a	Vogal “a”	214,1	0,83	214,1	0,33	215,1	3,35	216,2	15,7
sulal-31b	sentença	187,3	0,84	187,7	0,33	188,5	3,37	154,2	15,88
thais-20a	Vogal “a”	69,6	0,84	205,1	0,34	408,3	3,43	208	17,39
thais-20b	sentença	132,8	0,82	197,8	0,33	222,2	3,34	111,6	15,6
thiago_25a	Vogal “a”	98,2	0,78	98,4	0,33	98,2	3,34	98,3	16,19
thiago_25b	sentença	173,4	0,82	100,9	0,33	237,7	3,35	102,1	15,51
tom-20a	Vogal “a”	109,7	0,82	109,4	0,34	109,7	3,36	110	15,71
tom-20b	sentença	123,9	0,82	118,5	0,33	127,3	3,36	122,7	15,56

4.3.2 Descrição do algoritmo default do sistema para extração de pitch

A Figura 4.12 ilustra o fluxograma do algoritmo para estimação de pitch escolhido para utilização no sistema.

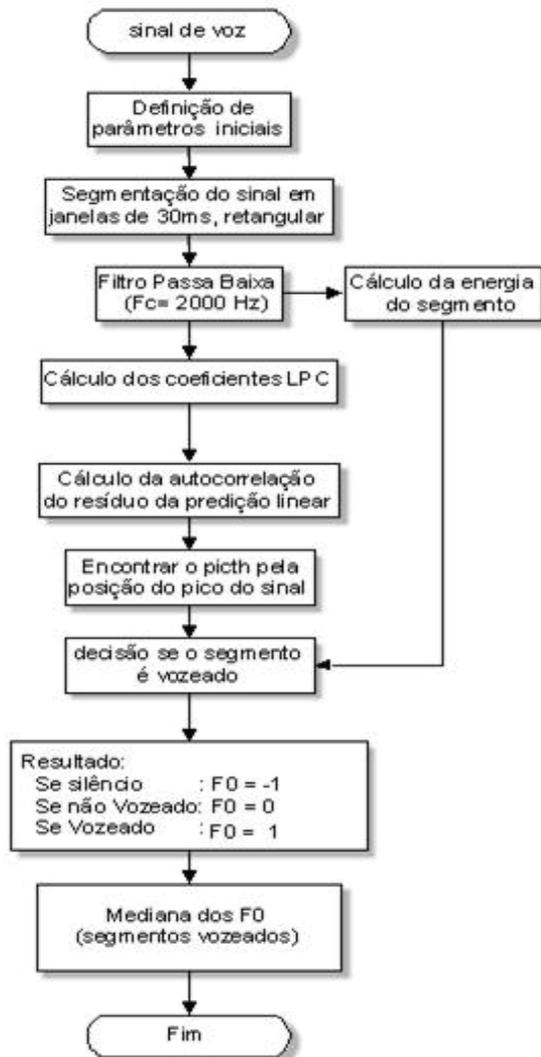


Figura 4- 12 Detetor de *pitch*

Na Figura 4.13 é apresentado o resultado da estimativa de energia de um sinal de voz gravado, onde o locutor pronuncia a palavra “Palmeiras”. No gráfico são apresentados os resultados dos cálculos de energia segmental, com segmentos sem sobreposição. Os valores são correspondentes a segmentos de silêncio, vozeados e não vozeados. Neste caso, todos os intervalos sofreram influência do ruído do ambiente e das características do microfone usado. Essa figura ilustra o resultado dos cálculos utilizando-se a equação 4.1. O início e o final do sinal foram editados manualmente, e incluídos trechos de silêncio absoluto, que

correspondem à energia mais baixa. Observando a Figura 4.13, pode-se estabelecer como limiar para trechos de voz (vozeado ou não), aqueles com potência acima de -12 dB. Ou seja, utilizando este mesmo equipamento, no mesmo ambiente que foi gravado este sinal, os trechos abaixo de -12 dB podem ser considerados trechos de silêncio. Considerando-se uma pequena margem de segurança, foi adotado o limiar de -14dB para o silêncio.

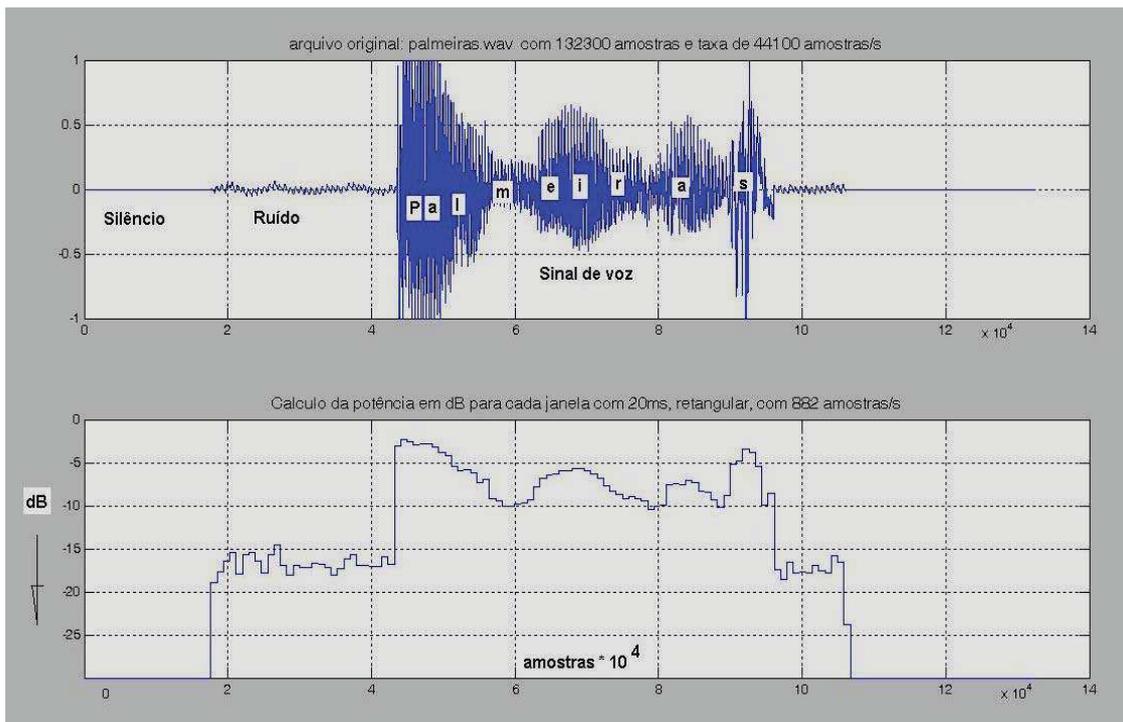


Figura 4- 13 Cálculo da energia de cada segmento do sinal

O método utiliza a avaliação da energia em cada segmento do sinal para auxiliar na definição se o segmento é vozeado: se não alcançar um valor limiar, o segmento é descartado; se alcançar este limiar, a definição final dependerá do limiar do pico da função de autocorrelação do sinal do resíduo da análise LPC do sinal no segmento considerado.

A cada captação de um trecho de voz é realizado um janelamento retangular, sem sobreposição. O sinal da janela passa por um filtro passa-baixa de 4ª ordem, com frequência de corte de 2 kHz, e, em seguida, é calculada a energia do segmento, como se segue:

Seja $y(n)$ o vetor de amostras do sinal em análise, onde n corresponde a n -ésima amostra, Jan a quantidade de amostras de cada janela e N a quantidade de amostra do sinal.

A energia do sinal para uma janela que inicia a partir da i -ésima amostra (em decibéis) será dada pela equação 4.1.

$$Energia(i) = 10 \text{Log} \sqrt{\left(\sum_{m=1}^{i+jan-1} \frac{y(m)y(m)}{N} \right)} \quad (4.1)$$

Onde: $i = 1, (1+jan), (1+2(jan)), (1+3(jan)), \dots, (1+(jan)(\text{int}(N/jan)-1))$

Na Figura 4.14 estão ilustrados, em uma janela de análise, os sinais de saída do preditor, o resultado da função de autocorrelação e o sinal original.

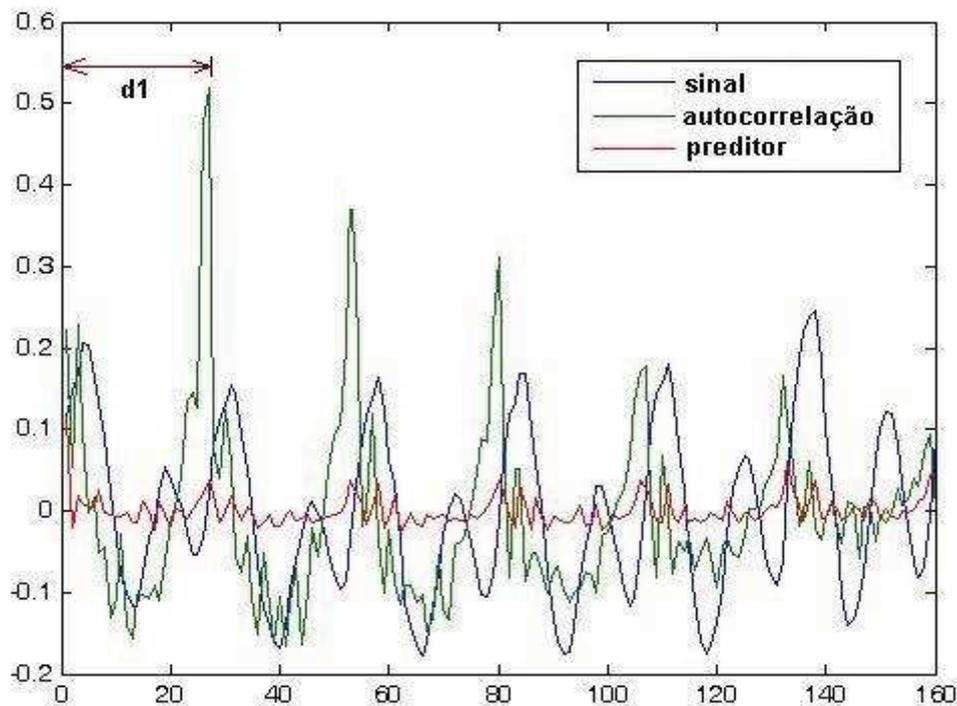


Figura 4- 14 Autocorrelação do resíduo da predição linear – janela com 160 amostras

O bloco para se detectar a presença de voz (*VAD - Voice Activity Detection*) é utilizado para avaliar o limiar da energia do sinal (LAMEL et al, 1981).

Para o cálculo dos coeficientes LPC foi utilizado um preditor de ordem 8, ou seja, cada amostras de saída $x(n)$ é aproximada pela combinação linear de 8 amostras anteriores. Para a solução da Matriz de Toeplitz foi utilizado o algoritmo de Levinson-Durbin (Durbin, 1959).

Na Figura 4.14 verifica-se que o máximo de pico da autocorrelação ocorre em torno da amostra 30 da janela corrente, que corresponde a uma frequência de $f_s/30$, neste exemplo, $8000/30$, correspondendo a 266,67 Hz. No algoritmo também é adotado um limiar correspondente ao limite superior de frequência do sinal, que corresponde ao tempo mínimo para ocorrer o primeiro pico do sinal, que deve ser superior a f_s/f_{max} . Para o caso de avaliação de voz podemos considerar que o pitch varia de 50 a 700 Hz. Neste caso, $d > 8000/700$, ou seja, $d > 11$ (à direita da 11ª amostra, no gráfico da Figura 4.14). Caso não seja encontrado nenhum pico do sinal resultante da autocorrelação do sinal, que atenda aos limiares, a janela de sinal é dita não vozeada.

De uma maneira geral, os métodos para estimativa de *pitch* podem cometer erros em alguns quadros, produzindo variações bruscas no valor de *pitch* que podem comprometer o resultado, caso seja utilizada a média aritmética dos valores de cada segmento. Em função disto, adota-se um pós- processamento, calculando-se a mediana dos valores obtidos em todos os quadros vozeados, eliminando-se, assim, possíveis valores abruptos que venham a ocorrer.

4.3.3 Considerações sobre a escolha do método de estimativa de pitch

A Tabela 4.3 mostra os resultados de alguns testes de algoritmos que foram escolhidos para avaliação, durante a investigação com voluntários. No sistema foram implementados os 3 primeiros métodos e a escolha pode ser feita pelo utilizador do sistema, por meio do *menu* de opções. A opção *default*, adotada pelo sistema se o usuário não entrar na caixa de escolha do método, é o método da autocorrelação do resíduo de LPC.

Os algoritmos foram analisados com foco na exatidão do valor da estimação da frequência fundamental, no tempo de resposta e na facilidade de implementação em ambiente Matlab®. A interface do sistema ainda implementa e disponibiliza os algoritmos propostos pelo COLEA (LOIZOU, 2003; LOIZOU, 1998), correspondentes aos métodos 1 e 2.

4.4 METODOLOGIA ADOTADA EM UMA INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS

Inicialmente, para a realização dos experimentos com voluntários, o projeto foi encaminhado para apreciação do Comitê de Ética da Secretaria de Saúde do Estado da Paraíba (CEP-SES/PB), vinculado ao Ministério da Saúde que, na sua 44ª Reunião Ordinária, em 29/07/2008, emitiu Certidão autorizando a realização dos experimentos em seres humanos.

Numa primeira fase, trabalhou-se com alunos e pacientes voluntários ligados à FUNAD (Fundação Centro Integrado de Apoio ao Portador de Deficiência) e ao CEPES (Centro Escolar Pedagógico para Surdos), para a avaliação das transformadas propostas.

Na segunda fase, o objetivo foi a avaliação da qualidade da voz do voluntário, antes e depois da correção da frequência fundamental. Esta etapa foi realizada com alunos voluntários da Escola Municipal Índio Pirajibe, localizado no Bairro de Mangabeira, município de João Pessoa, no estado da Paraíba.

O voluntário, antes de participar do experimento, assinou um Termo de Compromisso, autorizando a publicação dos resultados científicos, conforme modelo detalhado no Apêndice B. Quando menor de idade, a autorização foi concedida pelos pais ou responsáveis legais. O experimento foi sempre realizado com o voluntário acompanhado por um intérprete de Libras, para auxílio na comunicação. Quando o voluntário era menor de idade, foi acompanhado pelos pais ou responsáveis. Em ambas as fases, FUNAD e Escola, sempre que possível, um fonoaudiólogo acompanhava os experimentos, principalmente nos primeiros dias.

O sistema foi desenvolvido com muitas possibilidades de mudanças nos valores dos parâmetros de configuração, permitindo possíveis ajustes e testes de desempenho. Assim, durante os experimentos, foi possível a fixação de alguns destes parâmetros globais e, assim, melhor avaliação dos resultados. Na Tabela 4.4 estão enumeradas as variáveis que foram estabelecidas para a realização dos experimentos.

Para ajustes de alguns parâmetros, foram realizados, inicialmente, vários testes com colegas do laboratório LIMC (Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científica) da UFCG. A taxa de amostragem foi testada de 8000 a 44100 amostras por segundo e concluiu-se que esta taxa não influenciou nos resultados de estimativa do pitch. Dessa forma, definiu-se o valor de 8000 amostras por segundo, que requer menor esforço computacional.

O tempo de captura da voz é uma variável que influencia muito o desempenho do sistema, juntamente com as características do computador em uso. Outras variáveis que foram muito testadas foram: o tipo de janelamento, o tempo de sobreposição e a taxa de captura do sinal da voz.

Tabela 4- 4 Variáveis adotadas no sistema de aprendizagem de frequência fundamental

Variável	Valor adotado
Tipo de deficiência	auditiva
Tempo de sobreposição no atuador (seg)	2 seg
Tempo de captação no microfone (seg)	0,9 seg
Método de estimativa de pitch	Lafa (LPC)
Cálculo da média de pitch das janelas	mediana
Tipo de janelamento para sinal de voz	Hanning
Quantidade de tentativas por transformada	20
Taxa de captura no microfone	8000 amostras/s
Qtde de pontos adotados na dicotomização p/ escores	8
Pitch alvo adotado, P_a ,	Ver Tabela 5.2
Limite inferior da faixa de pitch adotado (Hz)	50
Limite superior da faixa de pitch adotado (Hz)	600
Limite inferior da faixa do sensor tátil (Hz)	10
Limite superior da faixa do sensor tátil (Hz)	100
Alvo adotado para a escala do sensor, corresponde ao alvo, P_a na escala de <i>pitch</i>	10Hz para a transformada quadrática e 20Hz para as demais
Tipo de realimentação da interface do software:	visual ou tátil
Formato de arquivos de saída	Txt + jpg+xls+ mat
Nome dos arquivos para cada experimento	nome do voluntário + data + hora

Do ponto de vista do voluntário, o experimento assemelhava-se a uma sessão de jogo. No início, o voluntário fornecia os seus dados pessoais: nome; forma de contato (local ou telefone); idade; sexo; tipo de deficiência; grau de escolaridade; em qual(is) o(s) ouvido(s) que possui(em) perda auditiva; qual é o grau de perda; qual a idade que estava quando adquiriu a perda; se usa aparelho auditivo de forma continuada e se já fez algum tipo de terapia com fonoaudiólogo. Em seguida, foram feitas 02 avaliações iniciais do *pitch*, para verificar a faixa de pitch que o voluntário estava falando, utilizando-se um módulo de captura com saída gráfica. Os limites de pitch *default* do sistema são de 50 a 600 Hz, embora possam ser ajustados outros valores.

Na etapa seguinte, foram definidos os valores dos parâmetros para captura do sinal de voz. O principal parâmetro é a definição do pitch alvo, sendo adotados os valores ilustrados na Tabela 4.5.

Tabela 4- 5 Valores adotados para o pitch alvo (Pa)

Idade e Sexo		Alvo, P_a (Hz)
Adulto	Masculino	120
	Feminino	220
Adolescente (entre 11 a 17 anos)	Masculino	200
	Feminino	250
Criança (Até 10 anos)		300

Na próxima etapa, foi escolhida o tipo de transformação: LinearMod, Logarítmica, Quadrática, Cúbica ou Linear. Esta etapa do experimento teve o objetivo de avaliar quais destas transformações apresentava melhor desempenho. Os demais parâmetros foram comuns para todos os experimentos: taxa de captura no microfone, quantidade de tentativas por transformação, tempo de captura no microfone, tempo de sobreposição e a quantidade de pontos para discretização, na parte do jogo, para avaliação dos escores. Foi necessário também ajustar a porta serial estabelecida pelo adaptador USB – serial, para permitir a comunicação serial com o gerador de sinais.

Concluindo-se esta parte de cadastro do voluntário e ajustes de parâmetros, o passo seguinte foi entrar no módulo de correção da frequência fundamental. Neste momento iniciou-se a comunicação com o gerador de sinais, enviando-se para o atuador vibro-tátil o sinal correspondente ao valor de F_c . O gerador de sinais, então, produziu um sinal quadrático que resultou na vibração do atuador com aquela frequência. Neste ponto, foi perguntado ao voluntário se o atuador estava vibrando e foi explicado a ele que, enquanto a vibração fosse aquela, significava que ele estava acertando no jogo; se ocorresse um aumento da vibração, significava que ele estava mais distante de acertar. Ou seja, aquela vibração inicial seria sua referência de acerto no jogo.

Neste momento do experimento, foi mostrada uma folha com algumas palavras e desenhos correspondentes a cada palavra, solicitando-se ao voluntário que lesse ou repetisse todas as palavras. Quando ele não conseguia falar as palavras, o avaliador ajudava-o, forçando a leitura labial e, se necessário, utilizando o toque da mão do voluntário no pescoço do avaliador. O sistema foi preparado para capturar 20 amostras de voz (poderia ser adotado um outro valor, embora este seja o valor *default*) para todos os voluntários, para cada transformação. Na Figura 4.15 é mostrada a folha utilizada nos experimentos.

Fale as seguintes palavras:

Pé	
Mão Dedo	
Boca Dente	
Casa Caaaaasa	
Bola Pelé	
Alô AAAAAlô	
Mapa Brasil	
Sapato	
Carro	

Figura 4- 15 Palavras a serem ditas pelo voluntário

A cada captura de voz no microfone, que tenha pelo menos 05 segmentos sonoros, foi feita uma estimativa de pitch a partir da mediana dos pitches estimados de segmentos sonoros. Ao mesmo tempo, o sistema calculou o erro de pitch, utilizando o valor estimado de pitch (P_i) em relação ao pitch padrão adotado (P_a) a partir da Tabela 4.2. O vetor de erro foi gravado junto com os vetores de pitch estimados, no final de cada sessão do experimento, juntamente com as demais variáveis adotadas e estimadas.

A escala tátil é dicotomizada, com 08 pontos (04 à direita do alvo e um à esquerda do alvo, além dos limites da faixa e o alvo propriamente dito). A cada valor estimado de pitch, a frequência tátil transladada é deslocada para o valor mais próximo de um destes valores dicotomizados. Quando for igual ao alvo (F_c), é atribuída uma taxa de acerto na interface do jogo. Desta forma, após a conclusão do experimento (após 20 tentativas), era fornecida ao voluntário a sua taxa de acerto, além de se gerar um gráfico de desempenho da sessão do jogo. Para cada tentativa, o voluntário recebia uma realimentação tátil, por meio das mudanças das vibrações do sensor, informando se tinha acertado ou se estava distante do alvo.

Estes procedimentos se repetiram para todas as transformadas, sendo gravados os arquivos com os valores adotados e resultados obtidos. O sistema gerou um arquivo no formato Excel que permitiu, por meio da ferramenta SPSS, a realização de uma análise estatística mais detalhada.

Na Figura 4.16 é listado um arquivo texto gerado pelo sistema ao final de cada experimento. A primeira parte é relativa aos dados cadastrais do voluntário e a valores de configurações do experimento. Logo em seguida são listados os valores da estimativa de cada pitch, correspondente a cada tentativa válida, além do erro de cada tentativa, a condição de acerto na escala discretizada e a própria escala discretizada. Para exemplificar, consideremos a tentativa 7, onde o pitch estimado foi de 163 Hz que, comparado ao alvo (120 Hz), produziu um erro de 35,8 %. Ao mesmo tempo, na escala tátil dicotomizada, a frequência tátil de 27,2 Hz e ficou mais próxima de 20 Hz do que de 36 Hz, portanto, constituindo-se em um acerto.

A escala tátil dicotomizada foi construída a partir da escala de pitch dicotomizada, com os valores espaçados linearmente à direita do alvo e com apenas um valor entre o alvo e o limite inferior. Cada valor da escala tátil é obtido a partir da transformação em uso. Outra informação fornecida pelo sistema foi o tempo que o voluntário gastou para completar o experimento (20 tentativas) que, no caso da Figura 4.16, foi de 79,594 s.

O valor do pitch padrão, opcionalmente, também pode ser estabelecido dentro de uma faixa. Por exemplo, para a pessoa do sexo masculino, adulta, o pitch padrão estaria aceitável na faixa de 90 Hz a 130 Hz. Desta forma, uma escolha adequada na discretização pode atender estes requisitos. Como o objetivo deste trabalho, nesta etapa, foi o de comparar o desempenho das transformações, optou-se por trabalhar com o pitch alvo fixo e estabelecido na Tabela 4.5, uma vez que o erro atribuído ao alvo foi o mesmo para todas as transformações.

O objetivo dos escores de acerto foi o de estimular os voluntários a procurarem a taxa máxima de acerto, promovendo uma competição.

Este procedimento de estabelecer o pitch alvo pode ser desmembrado para pitch alvo intermediário durante o processo de aprendizado da frequência fundamental da voz, principalmente para os casos do sistema ser utilizado para uma avaliação prolongada. Um exemplo de aplicação seria o de uma pessoa masculina adulta com pitch inicial estimado de 350 Hz, onde poderia ser fixado um pitch alvo inicial de 250 Hz e, em um segundo momento, o pitch alvo seria reduzido para 200 Hz, e assim sucessivamente.

```

j5_20081215__163423a_helio roberto.txt
Nome do arquivo (data e hora) j5_20081215__163423a_helio roberto
Nome: helio roberto
Sexo: 1
Idade: 48
Contato: cepes
Tipo de deficiência: 1
Perda: 1 com 0 anos
Grau: 2 Tipo 4
Aparelho: 3
Tempo de terapia: 4
Escolaridade: 1
Tempo de amostragem no sensor: 2
Transformada (Cont ou D/ transf) 2 5
Metodo para estimativa do pitch: 3
Quantidade de pontos adotados: 5
Alvos (Pa/Pax/fa/fax): 120 120 20 20
faixas (pitch/sensor): 50 600 10 100
Pitch estimado (Mediana / MédiaH): 172.25 172.25
Freq. no sensor (Mediana/MédiaH): 28.7083 27.6973
Erro de Pitch:43.54 Taxa de amostragem: 8000
Realimentacao: 2
Tentativas válidas 20 20 9
Duração (microfone / sessao) 0.9 79.594

```

```

Pitch: real-dicot / sensor: real-dicot / acertou / erro

```

Tentativa: 1	174.0	216.0	29.0	36.0	0	45.0
Tentativa: 2	145.0	120.0	24.2	20.0	1	20.8
Tentativa: 3	165.0	120.0	27.5	20.0	1	37.5
Tentativa: 4	176.0	216.0	29.3	36.0	0	46.7
Tentativa: 5	176.0	216.0	29.3	36.0	0	46.7
Tentativa: 6	172.5	216.0	28.8	36.0	0	43.8
Tentativa: 7	163.0	120.0	27.2	20.0	1	35.8
Tentativa: 8	178.0	216.0	29.7	36.0	0	48.3
Tentativa: 9	188.0	216.0	31.3	36.0	0	56.7
Tentativa:10	154.0	120.0	25.7	20.0	1	28.3
Tentativa:11	146.5	120.0	24.4	20.0	1	22.1
Tentativa:12	163.0	120.0	27.2	20.0	1	35.8
Tentativa:13	122.0	120.0	20.3	20.0	1	1.7
Tentativa:14	195.0	216.0	32.5	36.0	0	62.5
Tentativa:15	172.0	216.0	28.7	36.0	0	43.3
Tentativa:16	165.0	120.0	27.5	20.0	1	37.5
Tentativa:17	161.5	120.0	26.9	20.0	1	34.6
Tentativa:18	174.0	216.0	29.0	36.0	0	45.0
Tentativa:19	180.0	216.0	30.0	36.0	0	50.0
Tentativa:20	190.0	216.0	31.7	36.0	0	58.3

```

Valores dicotomizados: pitch / freq sensor
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

Valor 1:	50.0	10.0
Valor 2:	85.0	15.0
Valor 3:	120.0	20.0
Valor 4:	216.0	36.0
Valor 5:	312.0	52.0
Valor 6:	408.0	68.0
Valor 7:	504.0	84.0
Valor 8:	600.0	100.0

Figura 4- 16 Arquivo texto gerado ao final de um experimento completo

4.5 RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS

Durante a realização dos experimentos na FUNAD (Fundação Centro Integrado de Apoio ao Portador de Deficiência) e no CEPES (Centro de Ensino para Pessoas Surdas),

conseguimos trabalhar com 53 (cinquenta e três) voluntários (homens, mulheres, adolescentes e crianças). O perfil dos participantes encontra-se descrito na Tabela 4.6.

Tabela 4- 6 Perfil dos voluntários que participaram do experimento

Perfil do voluntário		sexo		Total
		masculino	feminino	
Nível educacional	Fundamental	31	16	47 (88.68%)
	Ensino médio	3	0	3 (5.66%)
	Universitário	2	1	3 (5.66%)
deficiência congênita	Sim	31	9	40 (75.47%)
	Não	5	8	13 (24.53%)
Uso de aparelho	Um aparelho	3	3	6 (11.32%)
	Dois aparelhos	4	3	7 (13.21%)
	Não usa aparelho	29	11	40 (75.47%)
Grau da deficiência	Leve	3	0	3 (5.66%)
	Moderada	6	2	8 (15.09%)
	Severa	12	7	19 (35.85%)
	Profunda	15	8	23 (43.4%)
Ouvido deficiente	Direito	3	3	6 (11,3%)
	Esquerdo	9	4	13 (24,5%)
	Ambos	24	10	34 (64,2%)
		36 (67,9%)	17 (32,1%)	53 (100%)

O número de voluntários em relação ao critério para o estabelecimento da frequência fundamental alvo ficou distribuído conforme apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4- 7 Número de voluntários em relação ao critério adotado para adoção do *pitch* alvo

Idade	Sexo	Pa (Hz)
Adultos	Masculino	21 (39,6%)
	Feminino	13 (24,5%)
Adolescentes (11 a 17 anos)	Masculino	10 (18,9%)
	Feminino	3 (5,7%)
Crianças (até 10 anos)	Ambos sexo	6 (11,3%)

Os erros em relação ao *pitch* alvo foram calculados concomitantemente à atualização dos escores de acerto. Cada voluntário submeteu-se a 03 sessões, para cada transformada, sendo armazenadas as médias dos resultados obtidos. Foi utilizada a ferramenta SPSS® para avaliação estatística dos dados, que foram importados dos arquivos em formato Excel. Na Tabela 4.8 são apresentados os resultados da média e desvio padrão para as variáveis investigadas: erro de *pitch*, taxa de acerto e duração do experimento.

Tabela 4- 8 Resultado da avaliação da comparação entre as transformadas (médias e desvios padrões)

Transformada	Variáveis	Absoluto	Min	Max	Média	Desvio. Padrão
Linearmod	Erro de pitch	411,33	-35,50	375,83	75,81	92,63
	Taxa de acerto	20,00	0,00	20,00	5,98	6,78
	Duração (s)	211,67	50,22	261,89	104,85	49,35
Logarítmica	Erro de pitch	429,83	-54,00	375,83	76,90	89,96
	Taxa de acerto	20,00	0,00	20,00	6,43	6,93
	Duração (s)	415,97	53,59	469,56	108,47	67,47
Quadrática	Erro de pitch	431,33	-55,50	375,83	63,60	84,97
	Taxa de acerto	20,00	0,00	20,00	6,23	6,87
	Duração (s)	174,75	50,63	225,38	96,90	35,68
Cúbica	Erro de pitch	428,71	-52,88	375,83	71,60	92,23
	Taxa de acerto	20,00	0,00	20,00	6,08	7,21
	Duração (s)	245,59	52,11	297,70	103,29	49,39
Linear	Erro de pitch	431,21	-55,38	375,83	78,95	101,11
	Taxa de acerto	206,42	53,95	260,38	102,07	44,30
	Duração (s)	20,00	0,00	20,00	6,04	7,17

Em relação ao pitch, a transformação que apresentou menor erro (de 63,59%) e com menor variabilidade (desvio padrão de 84,96%), foi a quadrática, conforme apresentado na Tabela 4.8.

Entretanto, quando se utiliza o teste de avaliação não paramétrico de Kruskal-Wallis H, (SIEGEL e CASTELLAN, 1988), cujo resultado é apresentado nas Tabelas 4.9 e 4.10, apesar do resultado do teste indicar uma tendência para a transformação quadrática como a de menor erro, a significância assintótica ou *p-value* ficou em 0,932 (maior que 0,05), onde se conclui que não existe diferença significativa entre as transformações. Ou seja, neste experimento, com esta base de dados, não se pode afirmar que existe uma transformação que se destaca em relação às demais.

Em relação à transformação que produz maior taxa de acerto, foi utilizado o mesmo teste não paramétrico e os resultados são apresentados nas Tabelas 4.11 e 4.12. Os resultados indicam que também não existe uma transformação com taxa de acerto significativa, embora tenha um destaque para a transformação logarítmica. Veja que a significância assintótica ou *p-value* ficou em 0,984 (maior que 0,05).

Tabela 4- 9 Avaliação do erro de pitch utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H

Ranks			
	Transformação	N	Mean Rank
error of pitch	Linearmod	53	135,38
	Logarítmica	53	138,58
	Quadrática	53	126,05
	Cúbica	53	130,49
	Linear	53	134,50
	Total	265	

Tabela 4- 10 Resultado da significância assintótica (p-value) para erro de pitch

Test Statistics ^{a,b}	
error of pitch	
Chi-Square	,846
df	4
Asymp. Sig.	,932

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
transformed

Em relação à duração dos experimentos, na Tabela 4.13 são apresentados apenas os valores da média e do desvio padrão, confirmando que a transformação quadrática além de possuir uma leve tendência para produzir o menor erro, também é a transformação com a qual o voluntário realiza os experimentos de forma mais rápida.

Tabela 4- 11 Avaliação da taxa de acerto no jogo utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H

Ranks			
	transformação	N	Mean Rank
Taxa de acerto	Linearmod	53	132,16
	Logarítmica	53	137,63
	Quadrática	53	134,61
	Cúbica	53	129,61
	Linear	53	130,98
	Total	265	

Tabela 4- 12 Resultado da significância assintótica (p-value) para taxa de acerto no jogo

Test Statistics ^{a,b}	
Taxa de acerto	
Chi-Square	,380
df	4
Asymp. Sig.	,984

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
transformed

Tabela 4- 13 Médio de duração dos experimentos por transformação

	Transformada	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
	Linearmod	211,67	50,22	261,89	104,8482	49,351
N = 53	Logarítmica	415,97	53,59	469,56	108,4656	67,465
	Quadrática	174,75	50,63	225,38	96,9003	35,676
	Cúbica	245,59	52,11	297,70	103,2943	49,390
	Linear	206,42	53,95	260,38	102,0734	44,299

Foi analisado separadamente apenas o grupo de voluntários masculinos adultos, que é o grupo com maior quantidade de pessoas, e utilizado o mesmo teste não paramétrico. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.14 e 4.15. Os resultados mostram que neste grupo, a significância assintótica ou *p-value* ficou em 0,898, que não é significativa, seguindo a tendência geral dos demais resultados.

Tabela 4- 14 Avaliação do erro de pitch, do grupo de adultos masculinos, utilizando o teste não paramétrico, ANOVA não paramétrica de Kruskal Wallis H

Ranks			
	transformed	N	Mean Rank
error of pitch	Linearmod	21	54,19
	Logarithmic	21	54,98
	Quadratic	21	47,31
	Cubic	21	52,43
	Linear	21	56,10
	Total	105	

Tabela 4- 15 Resultado da significância assintótica (p-value) do erro de pitch para o grupo de adultos masculinos

Test Statistics^{a,b}	
error of pitch	
Chi-Square	1,078
df	4
Asymp. Sig.	0,898

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
transformed

Em anexo a este trabalho é apresentado uma breve revisão sobre estatística fundamental e testes estatísticos.

4.6 CONCLUSÕES SOBRE A INVESTIGAÇÃO COM VOLUNTÁRIOS

Em relação à investigação sobre a codificação da frequência fundamental do sinal de voz em frequência tátil, utilizando-se as transformações propostas, os resultados indicam que nenhuma transformação mostrou-se mais eficiente com relação às demais. Nessa avaliação foi utilizado um grupo composto de 53 voluntários com deficiência auditiva, que consideramos bem representativo, para afirmar que a escolha da transformação pouco importa neste processo. Foi utilizada uma metodologia que estimulava a participação dos voluntários com deficiência auditiva por meio de um sistema de pontuação, e promovendo a competitividade entre os participantes. Essa metodologia mostrou-se bastante satisfatória e envolvente.

Resultados preliminares indicaram que, após participarem do experimento, foi observada ligeira mudança no comportamento dos voluntários, aumentando sua autoestima e sua iniciativa para estabelecer uma comunicação, bem como, boas perspectivas de melhoria da fala de pessoas com deficiência auditiva, com a aplicação da correção da frequência fundamental, que será objeto da continuação deste trabalho.

4.7 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia, a descrição do hardware e do software do sistema para correção da frequência fundamental da voz proposto. Foram apresentados resultados e conclusões de uma investigação com participação de 53 voluntários com deficiência auditiva, com objetivo de avaliar se existe alguma das transformadas apresentadas que apresentou melhor desempenho durante o processo de correção da frequência fundamental da fala.

O sistema apresentado é flexível permitindo ajustes de várias variáveis, bem como, a escolha da transformada para o mapeamento da frequência fundamental da fala na frequência tátil, como também, a escolha de algoritmos para estimação da frequência fundamental.

No capítulo seguinte serão apresentados resultados de uma investigação com a participação de 11 voluntários com deficiência auditiva, com objetivo de avaliar se ocorreu melhoria da fala de indivíduos decorrente da participação no processo de correção da frequência fundamental.

5

Avaliação subjetiva da melhoria da qualidade da voz

5 – AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ

Para avaliar se houve melhoria na qualidade da voz de voluntários, com a utilização do sistema de correção da frequência fundamental da voz, foram selecionados alunos voluntários da Escola Municipal Índio Pirajibe, localizado no Bairro de Mangabeira no município de João Pessoa, no estado da Paraíba. A Prefeitura Municipal de João Pessoa, para atender o projeto de inclusão digital de pessoas com deficiência auditiva, matriculados em sua rede, selecionou 3 escolas localizadas estrategicamente na cidade, para trabalhar com alunos com este perfil. A escolha destas escolas foi estratégica de forma a facilitar o transporte dos deficientes auditivos para estes colégios e otimizar o quadro de intérpretes de LIBRAS da Secretaria de Educação. Para esta pesquisa foi escolhida a escola com maior número de deficientes auditivos matriculados, onde podem ser encontrado até 5 deficientes em sala de aula junto com os alunos ouvintes. A direção da escola permitiu que utilizássemos uma sala dentro da Escola, para realização dos experimentos. Infelizmente, esta sala localiza-se entre blocos de sala de aula, e, portanto, durante os experimentos não existiu um isolamento acústico adequado e desejado. Uma semana anterior ao início do experimento, a escola foi procurada para colaborar com a pesquisa, e na oportunidade foi deixado um texto explicativo sobre como seria realizada a pesquisa bem como, um termo de consentimento individual para serem entregues aos alunos. Foi solicitado que os alunos devolvessem o formulário devidamente assinado, antes do início dos experimentos. No caso de menores, foi exigido que o termo de consentimento fosse assinado pelos seus pais ou responsáveis legais. O texto do termo encontra-se ilustrado no Apêndice B. Durante todo experimento foi feito o devido acompanhamento por uma intérprete escolhida pela direção da escola. A intérprete teve a função de buscar e devolver os alunos à sala de aula e de comunicar-se com eles, utilizando língua de sinais, durante o experimento.

5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O sistema foi configurado para trabalhar com transformada quadrática, escolhida aleatoriamente, conforme resultados apresentados na Tabela 4.8. Cada sessão foi configurada

para 20 tentativas de acerto na frequência alvo, configurada conforme Tabela 4.5. Para os demais parâmetros de configuração foram adotados aqueles valores *default* da Tabela 4.4. A configuração de hardware e software adotada está descrita no Capítulo 4.

5.1.1 Detalhamento dos procedimentos para cada sessão

Para cada deficiente auditivo voluntário, foram utilizados os seguintes procedimentos:

5.1.1.1 Primeiro dia

- Identificação e coleta de dados do voluntário: nome, endereço para contato, sexo, idade, responsável (se menor) e características da deficiência auditiva (ouvido deficiente, grau, data de início, tratamentos).
- Explicação sobre os objetivos do experimento: competição com premiação, para o voluntário;
- Coleta do termo de compromisso autorizando a publicação dos resultados, assinado pelos pais ou responsáveis, quando menor de idade;
- Gravação de 1s da vogal /a/ sustentada (para avaliação futura);
- Gravação das frases: “Casa do Pato” e “Mapa do Brasil”.

5.1.1.2 Segundo ao quarto dia:

- Participação no sistema de correção de frequência, com 20 tentativas, conforme descrito na Sessão 4.5.

5.1.1.3 Quinto dia:

- Participação no sistema de correção de frequência, com 20 tentativas;
- Gravação novamente de 1s da vogal /a/ sustentada;
- Gravação novamente das frases: “Casa do Pato” e “Mapa do Brasil”

5.1.1.4 Premiações

Como forma de incentivar a participação de forma competitiva, houve premiação para o vencedor, na forma de balas e chocolates, que corresponde àquele que teve uma maior quantidade de acertos durante o processo. Em termos de avaliação, isso correspondente ao

voluntário que durante uma sessão, conseguiu falar mais próximo da frequência fundamental da voz estabelecida como alvo, conforme Tabela 4.5.

Iniciaram o experimento 34 voluntários, entretanto ao final, o grupo ficou reduzido a apenas 11 voluntários. Muitos deles optaram por não continuar sua participação no experimento e parte deles faltava muito às aulas da escola, dificultando sua participação mais efetiva no experimento.

5.1.2 Gravação da voz

O sinal de voz foi gravado antes e depois da participação dos voluntários em cinco sessões de correção da frequência fundamental da voz.

5.1.2.1 Equipamento e software utilizado

Foi utilizado o sistema de multimídia do notebook com o sistema para correção de frequência fundamental descrito no Capítulo 4. Foi utilizado para gravação da fala o software Cool Edit Pr, versão 2, em ambiente operacional windows XP. Para a gravação do som foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Taxa de amostragem para gravação das frases: 44100 amostras/s
- Canais: 1 (mono)
- Resolução: 16 bits

Durante a gravação foi utilizado um microfone marca LeaderShip modelo 3936 tipo flexível, com uma distância aproximadamente de 10 cm da boca do voluntário. Durante o experimento foi solicitado ao intérprete orientar o voluntário a fazer a leitura e repetição da frase escolhida. A intérprete auxiliava o voluntário com expressões orofaciais, quando necessário. A Figura 5.1 ilustra como foi realizado experimento, onde pode ser visto uma criança voluntária, a intérprete e o sistema em operação. Cada arquivo foi editado e salvo apenas o trecho específico da frase dita pelo voluntário. Foram retirados os trechos antes e depois da frase, para diminuir o tamanho do arquivo. Foi escolhido o formato *wav* para gravação do arquivo, para garantir uma melhor qualidade na reprodução do som.



Figura 5- 1 Logística durante a realização do experimento

5.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PARA AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA VOZ

Para a avaliação subjetiva da melhoria da qualidade de voz foi desenvolvido um sistema que permite, através da internet, o cadastramento dos voluntários, juntamente com os arquivos de vozes. O avaliador tem acesso à homepage para realizar seu cadastramento e fazer a respectiva avaliação *online*. Para fazer a avaliação é necessário que o avaliador tenha acesso à internet e que tenha em seu computador uma saída de áudio. O acesso ao sistema estava disponível no seguinte endereço: <http://iltonlb.sites.uol.com.br/tatil/> (acessado em Junho/2010). No sistema, o avaliador após fazer o seu cadastramento, recebe um *login* e *senha* para iniciar as avaliações. Durante as avaliações, o avaliador pode ouvir a fala do voluntário, antes e depois de submetido às 5 sessões pelo sistema de correção da frequência fundamental da voz. Foi permitido que o avaliador ouvisse quantas vezes desejasse para fazer sua avaliação, bem como, refazê-la. Nos relatórios das avaliações foram considerados somente aqueles avaliadores que completaram todas as 5 sessões de avaliações. Para o pesquisador, estavam disponíveis as telas de administração do sistema, tais como: cadastro de voluntários, listagens de voluntários, listagens de avaliadores e relatórios dos resultados das

avaliações. No Apêndice C estão ilustradas algumas telas do sistema desenvolvido para gerenciar a avaliação subjetiva da qualidade de voz. O sistema foi desenvolvido utilizando-se a linguagem java, Banco de dados SQL e servidor web Apache Tomcat. Estas ferramentas foram instaladas em ambiente linux em um servidor com IP fixo e com acesso externo. Este servidor está instalado no Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas - LIMC da UFCG. O sistema está online desde Junho/2010. No dia 23/08/2010, foram emitidos relatórios das avaliações. Até a conclusão deste trabalho tinham sido cadastrados em torno de 75 avaliadores, porém, faltando concluir as avaliações.

Os arquivos de sons, correspondentes a gravação da fala dos voluntários, ficaram hospedados no mesmo servidor do sistema utilizado para o cadastramento dos voluntários. Para cada voluntário deficiente foram cadastradas duas frases: Casa do Pato e Mapa do Brasil.

A Tabela 5.1 ilustra os pesos adotados e correspondentes a cada avaliação comparativa subjetiva da fala, coletada antes e após as 5 sessões do voluntário no sistema. O sistema gera relatórios de avaliação dos voluntários em arquivo, no formato excel, adotando-se o sistema de pontuação da referida tabela. Estes relatórios podem ser emitidos por avaliador, por voluntário e com todos os voluntários e avaliadores.

Tabela 5- 1 Pesos da avaliação subjetiva da qualidade da voz

Comparação da voz antes e depois de submetido às seções de correção da frequência fundamental	Pontos
Muito melhor	3
Melhor	2
Pouco melhor	1
Igual	0

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Depois de atualizado o cadastro dos voluntários no sistema e realizados alguns testes para avaliação e validação do processo de avaliação, foi enviado um email para os avaliadores explicando e convidando-os para a participação na pesquisa, bem como, o link para acesso ao sistema. Foram escolhidos alguns avaliadores com formação específica na área de fonoaudiologia, pedagogia e alguns pesquisadores (alunos e professores) da Universidade.

Em 23/08/2010 foi decidido encerrar as avaliações e, conseqüentemente, a impressão dos relatórios para avaliação dos resultados. Entretanto o sistema ainda continua disponível para acesso na internet.

Nas Tabelas 5.2 estão apresentados os perfis dos voluntários deficientes que participaram dos experimentos até o dia 23/08/2010.

Tabela 5- 2 Perfil dos voluntários

Voluntário	Idade (anos)	Sexo		Deficiência			
		1:Masculino	2:Feminino	1:Leve	2:Moderado	3:Severo	4:Profundo
v1	9	1				3	
v2	14	2				2	
v3	11	1				2	
v4	12	2				3	
v5	11	1				2	
v6	31	1				4	
v7	10	1				4	
v8	6	2				3	
v9	12	2				3	
v10	13	2				3	
v11	9	1				3	

O agrupamento das profissões dos avaliadores seguiram os critérios indicados na Tabela 5.3.

Tabela 5- 3 Profissões dos avaliadores

1	:	Engenheiros e Arquitetos
2	:	Fonoaudiólogos / Psicólogos / Pedagogos
3	:	Outras profissões

Na Tabela 5.4 estão apresentados os perfis dos avaliadores. Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados das avaliações para as duas frases, coletadas junto aos deficientes auditivos voluntários, conforme pesos atribuídos na Tabela 5.1.

Tabela 5- 4 Perfil dos avaliadores (juizes)

avaliador	Idade (anos)	Sexo: 1:Mas 2:Fem	Prof.	avaliador	Idade (anos)	Sexo: 1:Mas 2:Fem	Prof.	avaliador	Idade (anos)	Sexo: 1:Mas 2:Fem	Prof.
av1	26	1	1	av20	48	1	1	av39	41	1	1
av2	30	1	3	av21	37	2	1	av40	55	2	1
av3	38	1	3	av22	43	1	1	av41	64	2	1
av4	29	2	2	av23	38	1	3	av42	54	2	2
av5	41	2	2	av24	31	2	2	av43	29	2	2
av6	56	1	3	av25	61	1	1	av44	52	2	1
av7	55	1	1	av26	26	2	3	av45	53	2	1
av8	55	1	1	av27	58	1	1	av46	53	2	2
av9	52	1	1	av28	69	1	1	av47	46	2	2
av10	34	1	1	av29	64	1	3	av48	53	1	1
av11	25	2	1	av30	39	1	1	av49	48	1	1
av12	26	1	1	av31	23	2	3	av50	34	2	3
av13	29	2	1	av32	45	2	2	av51	25	2	2
av14	23	1	2	av33	32	1	2	av52	42	2	1
av15	36	1	1	av34	48	2	2	av53	46	2	2
av16	40	1	2	av35	48	1	2	av54	57	2	2
av17	27	2	1	av36	52	2	1	av55	28	1	2
av18	42	1	1	av37	54	2	2	av56	46	1	1
av19	23	2	2	av38	26	1	1	av57	45	2	2

Tabela 5- 5 Resultado das avaliações

	Frases1: "Casa do Pato"											Frases2: "Mapa do Brasil"										
	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	V10	V11	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	V10	V11
av1	0	0	1	2	1	1	0	2	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	
av2	1	3	3	3	1	3	0	3	3	3	0	3	3	3	1	2	3	2	3	3	3	3
av3	0	2	3	2	1	3	0	3	3	2	0	3	3	3	3	0	0	1	1	2	1	0
av4	3	0	2	1	2	3	0	3	2	1	0	2	0	1	0	2	1	2	2	3	3	2
av5	3	2	0	1	0	0	1	2	2	3	1	3	2	0	1	0	0	1	2	2	3	1
av6	3	0	2	0	1	3	0	3	3	2	1	1	1	0	0	2	0	1	3	2	1	0
av7	2	3	2	0	2	0	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	1	3	3	3	3	0
av8	1	0	2	1	1	3	0	3	3	2	0	2	2	2	2	1	2	1	2	3	3	0
av9	1	1	1	0	0	2	0	3	1	2	0	2	2	1	1	1	1	1	3	1	0	0

av10	1	2	1	2	1	3	1	3	2	1	1	3	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1
av11	1	0	1	1	0	2	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	1	0	2	2	2	1
av12	1	0	0	3	2	1	0	3	2	1	0	2	2	0	3	0	2	1	0	1	1	0
av13	0	1	1	0	1	3	1	3	3	3	0	3	1	0	0	2	3	1	3	3	2	0
av14	2	0	0	2	1	1	1	3	3	0	0	1	2	0	1	0	1	0	2	2	1	1
av15	1	0	0	1	2	1	1	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0	1	1	2	1	0
av16	2	0	0	0	1	1	0	2	1	3	0	2	0	0	0	0	0	1	2	1	3	0
av17	0	1	0	1	0	2	0	1	2	1	0	1	2	1	2	0	0	1	0	1	1	0
av18	3	1	1	2	1	2	0	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	2	1
av19	1	0	1	0	1	2	1	2	2	1	0	2	2	0	0	1	0	2	1	1	2	1
av20	2	1	3	3	1	3	0	3	3	1	0	3	3	2	0	1	0	2	0	3	3	1
av21	2	1	2	1	1	2	0	3	3	1	0	3	1	2	2	0	1	1	2	2	1	1
av22	1	0	2	2	1	2	0	3	2	1	0	1	1	2	1	2	2	0	3	2	1	1
av23	2	2	2	3	2	3	0	3	3	2	0	3	3	0	3	2	0	3	3	3	2	2
av24	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	0	2	0	2	1	0	1	0	3	2	1	1
av25	0	1	1	0	1	1	0	3	1	2	1	2	2	1	0	0	1	1	1	2	1	2
av26	1	0	1	0	0	2	1	2	3	1	0	2	2	2	0	2	1	0	3	1	2	0
av27	2	0	0	2	0	0	0	3	1	2	0	1	0	0	2	0	0	0	3	3	3	0
av28	1	1	1	2	2	3	2	3	3	3	2	1	1	1	0	1	1	0	3	3	1	2
av29	0	0	0	1	1	2	0	3	2	1	2	2	1	0	0	1	0	1	3	1	3	0
av30	0	1	0	2	1	2	2	2	2	2	0	3	1	1	0	2	1	1	3	1	1	0
av31	2	1	3	0	1	3	1	3	2	1	0	3	2	1	1	2	1	2	2	3	3	2
av32	1	1	0	1	0	2	0	3	3	1	0	3	1	0	0	1	0	1	3	3	3	1
av33	2	1	2	0	1	0	2	2	1	1	0	3	2	2	2	0	0	3	2	2	2	0
av34	2	1	3	1	2	2	0	2	3	3	0	3	2	3	0	1	1	0	3	2	2	1
av35	1	2	3	1	1	3	2	3	3	3	0	2	2	2	2	0	0	1	3	3	3	2
av36	2	2	3	2	3	1	3	3	3	2	1	3	3	2	2	1	1	2	3	3	3	1
av37	2	2	1	1	2	0	1	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	2	0	1
av38	2	1	2	1	0	3	0	3	2	0	0	3	2	1	1	1	1	1	3	3	1	1
av39	1	1	0	2	0	1	1	2	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	2	1	1
av40	1	1	2	3	0	3	1	3	3	2	0	0	2	2	1	2	2	1	3	3	3	1
av41	1	0	2	3	1	3	0	3	3	2	2	2	2	2	1	1	2	0	0	3	3	0
av42	2	1	1	0	1	1	0	2	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	2	3	3	1
av43	2	2	2	2	1	2	0	3	3	2	0	3	1	1	0	0	1	2	3	2	2	0
av44	1	1	1	1	0	2	0	2	3	3	0	2	2	2	0	1	0	1	3	3	3	0
av45	2	2	3	2	2	3	1	3	2	3	1	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2	1
av46	1	2	1	2	2	3	3	3	3	1	1	1	3	2	3	3	1	0	3	3	3	1
av47	3	1	0	1	2	1	1	1	1	2	0	3	1	1	2	1	0	1	2	2	2	1

av48	3	2	3	1	1	2	1	3	3	3	1	3	2	2	2	1	2	2	2	3	2	1
av49	1	1	0	2	2	2	0	2	2	2	1	2	2	0	1	1	0	1	2	2	2	1
av50	2	2	1	0	2	3	1	3	1	2	0	3	1	1	1	2	2	1	3	3	3	2
av51	2	0	2	1	0	1	0	2	3	2	0	3	1	1	1	0	0	1	0	3	3	1
av52	1	1	2	2	2	1	0	3	1	2	0	1	2	1	0	2	1	1	1	3	3	2
av53	2	0	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	0	0	2	2	2	2	1
av54	2	2	1	3	0	2	0	0	1	3	0	3	1	0	0	2	0	2	1	2	2	0
av55	2	1	2	3	2	3	1	3	2	0	0	3	1	0	3	2	0	0	3	3	1	1
av56	0	2	3	2	3	3	2	2	2	3	0	3	3	2	2	2	1	2	3	2	1	0
av57	3	0	0	0	1	2	0	2	1	1	0	3	1	0	0	0	0	1	3	2	2	1

5.4 RESULTADOS DO TRATAMENTO ESTATÍSTICO DA AVALIAÇÃO

O detalhamento do procedimento técnico de avaliação estatística dos resultados encontra-se no Apêndice D deste trabalho. Por meio da análise exploratória e descritiva dos dados, pode-se afirmar que o uso do sistema de correção da frequência fundamental da voz, proporcionou um efeito positivo para a melhoria da qualidade de voz.

Tomando-se os resultados da análise estatística dos resultados da avaliação, em termos da média final e desvio padrão, conforme Tabela 5.6, observa-se que houve uma melhoria considerável da qualidade da voz e com pouca variabilidade. Entretanto, a análise de e scores médios foi feita para cada frase separadamente, uma vez que cada voluntário deficiente auditivo foi avaliado duas vezes, uma vez para cada frase, e os resultados da Tabela 5.6 consideram uma independência entre as avaliações.

Tabela 5- 6 Valores de tendência central da variável média das notas

N	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
					Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
22	0,37	2,54	1,4386	,60383	0,197	0,491	-0,991	0,953

Portanto a análise do escore médio foi feita para cada uma das frases separadamente, pois se fosse feita a análise considerando-se as frases 1 e 2 conjuntamente,

significaria ter dados tomados dois a dois dependentes. Entretanto, cada voluntário deficiente auditivo foi avaliado com relação à leitura de duas frases separadamente.

Avaliando-se os valores de tendência central da variável “média das notas por frase”, considerando-se as duas frases utilizadas, observa-se que a média para a frase “Casa do Pato” foi 1,43 e para a frase “Mapa do Brasil”, foi 1,45, ambas com pouca variabilidade (0,64 e 0,59), confirmando que houve uma melhoria da qualidade da voz, ficando o resultado final entre “Pouco Melhor” e “Melhor”, conforme Tabela 5.1.

Também foram analisados se os perfis dos voluntários e dos avaliadores tiveram alguma influência no desempenho da melhoria da qualidade da voz. Os resultados indicaram que o gênero e o grau de deficiência dos deficientes auditivos, como também, a profissão e o gênero dos avaliadores, não influenciam nos resultados das avaliações.

5.5 RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia para realização do experimento para validação do sistema de correção da frequência de voz para deficientes auditivos, como também, os resultados obtidos com a utilização do sistema. Por meio do referido sistema foi levado a efeito uma avaliação subjetiva da qualidade da voz antes e depois do uso do processo de correção da frequência fundamental. No capítulo seguinte serão apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.



Conclusões e Propostas
para
Trabalhos Futuros

6 – CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A visão é a modalidade sensorial que usamos com mais frequência na interação com o meio ambiente. Entretanto, a audição é uma das modalidades sensoriais muito usada para interpretar estímulos ambientais ou extrair informações dele. Por outro lado, o olfato, o paladar e o tato são pouco acionados no dia a dia, embora nunca se poderá saber se um café está quente ou amargo, somente com a visão e audição.

Greco (1994) adverte que o maior desenvolvimento de apenas um canal sensorial, é produto da especialização no decorrer da vida, que torna preferencial sua utilização, minimizando ou bloqueando os outros. Estes bloqueios podem levar à distorção, generalização e à eliminação de conteúdos, condicionando a aceitação ou rejeição deles e influenciando no processamento mental do ser humano. O autor adverte, todavia, que se o canal não desenvolvido for despertado e trabalhado, ao atuar em conjunto com os outros, pode se situar como sede de transformação e aprendizagem.

O cérebro raramente processa informações ambientais de forma sequencial, mas de forma simultânea, usando todos os sentidos. Os seres humanos tem uma capacidade limitada de receber, memorizar e reagir cognitivamente a estas informações. Com isso, o uso contínuo de uma modalidade sensorial para transmitir ou receber informações pode sobrecarregar esta modalidade. O tato tem sido muito utilizado para auxiliar a visão e a audição em muitas aplicações. Para o caso de existir uma deficiência em uma destas modalidades, a utilização do tato, torna-se essencial no processo de comunicação.

Em alguns trabalhos foram utilizados estimuladores táteis para auxiliar na transmissão da fala. Os estimuladores desenvolvidos podem utilizar um ou mais canais e serem vibro-táteis ou eletro-táteis. Estes estimuladores têm apresentado resultados bastante positivos no auxílio ao aprendizado da fala, em sistema com realimentação visual, em termos de melhor controle da entonação e melhoria da qualidade da voz.

Em termos de tecnologias para auxílio a oralização de surdos, os sistemas existentes por realimentação visual para auxílio ao ensino da fala utilizam jogos com indicação de acerto de alvo.

Este trabalho investigou a utilização da realimentação tátil com codificação da fala, em tempo real, para controle e aprendizagem da frequência fundamental da voz em pessoas com deficiência auditiva. A proposta inicial seria trabalhar com voluntários surdo-cegos, mas devido à dificuldade de se encontrar um quantitativo razoável de voluntários surdo-cegos para realização dos experimentos, se optou por desenvolver o trabalho para pessoas com somente deficiência auditiva.

As pesquisas realizadas comprovaram que foi possível obter uma melhoria na qualidade da voz de pessoas com deficiência auditiva com diferentes níveis de surdez.

Inicialmente foram investigados e apresentados resultados da comparação da sensibilidade tátil entre os dedos da mão dos voluntários, em função da faixa de frequências de vibração do estimulador vibro-tátil, para indivíduos com perfis diversificados. Os resultados desta comparação mostraram que não existe diferença significativa entre a sensibilidade tátil dos dedos da mão, bem como, não foi observada diferença significativa na sensibilidade tátil, para as frequências alvos escolhidas na faixa de melhor frequência tátil. Foi também observado que não existe diferença significativa na sensibilidade tátil, para pessoas de diferentes sexos, diferentes idades e com diferentes graus de instrução. Com base nestes resultados, foi aproveitada toda a faixa operacional de frequência tátil, escolhendo-se um dos dedos da mão dos voluntários, sem a preocupação de uma classificação dos voluntários por sexo, idade ou grau de instrução.

Em seguida foram apresentados os resultados de uma investigação sobre a codificação da frequência fundamental do sinal de voz em frequência tátil, utilizando algumas transformações, com o objetivo de realizar a correção da frequência fundamental da voz em voluntários com deficiência auditiva. Os resultados indicam que nenhuma transformação estudada mostrou-se mais eficiente em relação às demais. A escolha da transformação pouco importa neste processo. Nesta investigação foi utilizada uma metodologia que estimulava a participação dos voluntários com deficiência auditiva por meio de um sistema de pontuação, e promovendo a competitividade entre os participantes, foi incentivada a participação nos experimentos. Essa metodologia mostrou-se satisfatória e envolvente, e, durante os experimentos, observou-se uma grande perspectiva de desenvolvimento de um mecanismo de controle sensorial, por meio do tato, que pudesse ser utilizado para fins de correção da frequência fundamental da fala.

Por último, em decorrência do papel importante que desempenha a frequência fundamental na qualidade da fala partiu-se da hipótese de que corrigindo esse parâmetro se poderia obter uma melhoria da qualidade da voz de pessoas surdas e a sua possível aplicação em processos de oralização. Assim, com base nos resultados da pesquisa realizada na investigação anterior que mostrou ser possível um controle da frequência fundamental, através de estímulos táteis, foi então investigado o uso desse procedimento e avaliada a ocorrência da melhoria da qualidade da voz pela correção da frequência fundamental. Nesta investigação, optou-se por uma avaliação subjetiva da qualidade da voz em voluntários deficientes auditivos que foram submetidos a cinco sessões de procedimentos de correção da frequência fundamental da voz. A fala dos voluntários foi gravada usando-se duas frases, que foram pronunciadas antes e depois da correção da frequência fundamental da voz. As frases escolhidas foram: (a) Casa do Pato e (b) Mapa do Brasil.

Os arquivos de sons dos voluntários, obtidos antes e depois da correção da frequência fundamental, foram submetidos a avaliadores, que classificaram o quanto melhorou a qualidade da voz tomando-se como métrica um sistema de pontuação.

Os avaliadores foram recrutados através da internet utilizando-se um sistema online com acesso para proceder à avaliação somente após um cadastro prévio, para conhecimento do perfil do avaliador. No sistema, que está hospedado em um servidor web, estão cadastrados todos os dados dos voluntários que participaram do experimento, bem como todos os arquivos de sons.

6.1 CONCLUSÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as principais conclusões deste trabalho bem como algumas sugestões para a continuação da pesquisa. As conclusões são elencadas tomando-se com referência a ordem de etapas de realização da pesquisa.

6.1.1 Com relação à investigação da sensibilidade tátil das pontas dos dedos da mão dominante de pessoas cegas, com deficiência auditiva e pessoas sem nenhuma deficiência:

Não existe diferença significativa na sensibilidade tátil entre:

- a) Pessoas de sexo diferente;
- b) Crianças, adolescentes e adultos;
- c) Pessoas que já nasceram com a deficiência com relação àqueles que adquiriram a deficiência depois do nascimento;
- d) Pessoas com diferentes níveis de escolarização: fundamental, médio e superior;
- e) Diferentes frequências do sinal utilizado para estimulação tátil, na faixa de 10 a 100 Hz.
- f) Os dedos da mão. Entretanto presume-se que não se aplique aos cegos por possuírem mais treinamento com o dedo polegar, para utilização do código Braille;

6.1.2 Com relação à investigação sobre o uso de transformações para codificação da frequência fundamental da voz em sinal vibro-tátil, em tempo real:

- a) Nenhuma das transformações investigadas, para mapeamento da escala de frequência fundamental da voz na escala tátil, mostrou-se mais eficiente com relação às demais;
- b) Após participarem do experimento, foi observada ligeira mudança no comportamento dos voluntários, aumentando sua autoestima e sua iniciativa para estabelecer uma comunicação, bem como, boas perspectivas de melhoria da fala de pessoas com deficiência auditiva,
- c) O uso da metodologia que estimula a participação dos voluntários por meio de um sistema de pontuação, mostrou-se bastante satisfatória e envolvente ao promover a competitividade entre os participantes;

6.1.3 Com relação à investigação sobre o uso da correção da frequência fundamental da voz para melhoria na qualidade da voz:

- a) Foram observadas que o uso do sistema de correção da frequência fundamental da voz, tem um efeito positivo para a melhora da sua qualidade, obtendo-se como resultado final uma média variando entre “pouco melhor” e “melhor”. Pelos resultados obtidos, pode-se também afirmar que quanto maior o tempo de utilização do processo, melhor serão os resultados;
- b) O gênero e o grau de deficiência dos deficientes auditivos não influenciam nos resultados das avaliações;
- c) A profissão e o gênero dos avaliadores pouco importa nos resultados.
- d) O uso da metodologia de avaliação subjetiva da qualidade da voz com recrutamento de avaliadores através da internet, mostrou-se bastante eficaz, possibilitando a participação de uma quantidade maior de avaliadores, em particular, especialistas em voz;

Faz-se oportuno o registro de que o objetivo inicial desta etapa da pesquisa seria o uso do processo para aplicação em voluntários surdos cegos, e que posteriormente, devido às dificuldades de recrutamento de voluntários com este perfil para participarem dos experimentos, o trabalho foi redirecionado para voluntários com apenas deficiência auditiva.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A questão da integração do uso da realimentação visual e tátil ainda é uma discussão em aberto. O sistema de correção utilizado nesta pesquisa utilizou apenas a realimentação tátil, embora estivesse disponível, no sistema, também a realimentação visual. Seria interessante a realização de experimentos utilizando os dois procedimentos com um estudo comparativo dos resultados.

O sistema de correção da frequência fundamental da voz utiliza um notebook e o gerador de sinais, além do sensor tátil e microfone, para a parte de hardware. Parte do software envolvido, fica em execução no notebook e parte em execução no gerador de sinais. Seria interessante transferir todo o sistema (hardware e software), para um módulo compacto com processador DSP - *Digital Signal Processor*, já em uma plataforma em forma de produto. O passo seguinte seria a popularização do equipamento com distribuição em escolas especializadas para deficientes auditivos e surdos cegos.

Este sistema de correção da frequência fundamental da voz poderia ganhar uma versão específica para ser utilizado pela internet, onde o voluntário com um microfone, o gerador de sinais e o atuador tátil, além de uma conexão banda larga na internet, poderia participar dos experimentos à distância. Neste caso, parte do processamento seria local e o restante no servidor web.

Poderia ser investigada também a utilização de mais de um atuador tátil ou um atuador com mais de um ponto de vibração com uma nova interface e novos protocolos de codificação da frequência fundamental da voz em sinais táteis.

A questão da influência do tempo de utilização do sistema em relação aos resultados na melhoria da qualidade da voz, também poderia ser ainda investigada.

A questão da utilização de novos algoritmos para estimativa do valor da frequência fundamental da voz, priorizando o tempo de resposta e a precisão de resultados, e voltados para a faixa de frequência de 50 a 800 Hz, ainda pode ser investigado.

Em relação à avaliação subjetiva da qualidade de voz seria interessante verificar novos resultados com a adição de novos níveis na escala de notas adota na Tabela 5.1. Esta sugestão foi uma contribuição de uma especialista em voz, que participou da avaliação.

Poderia ser investigada também a utilização de mais de um parâmetro de voz, podendo ser usado ou não, em conjunto com a frequência fundamental da voz com uso da realimentação tátil, para melhoria da qualidade da voz.

Poderia ser investigada a influência das transformações utilizadas, propondo uma sistemática para o cálculo do fator de ajuste (“s”) que possibilite o controle de níveis de dificuldades no mapeamento das frequências e utilizando realimentação tátil em tempo real.

Por fim, surgiu durante o andamento da pesquisa uma demanda por profissionais especialistas em voz para aplicação do processo em pacientes sem nenhuma deficiência, ou seja, profissionais da área de jornalismo que têm necessidade de ajustar a frequência fundamental da voz em torno de valores específicos. Segundo os especialistas, as ferramentas que existem disponíveis para esta tarefa utilizam apenas a realimentação visual, sobrecarregando a visão para leitura de textos e para acompanhar os resultados em tempo real, simultaneamente. No caso, os resultados poderiam ser codificados em sinais táteis e isto facilitaria o processo de aprendizagem.

R eferências

Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAY, M., *Time-Frequency and Wavelets in Biomedical Signal Processing*. John Wiley & Sons, 1997.
- AIRES, M. M. *Fisiologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991.
- AMEMIYA K, TANAKA Y., *Portable tactile feedback interface using air jet*. The 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence Proceedings 99: 115–122, 1999.
- ANDRADE, A. & VIANA, C., *Fonética*, in faria, I., E. Pedro, Inês Duarte & C. Gouveia, (orgs.) *Introdução à Linguística Geral e Portuguesa*. Lisboa. Editora Caminho, pp. 115 – 125; 129-134; 136-146, 1996.
- ANDREWS M. *Manual of voice treatment. Pediatrics throught geriatrics*. San Diego, Califórnia: Singular Publishing Group Inc.; 1995.
- ANGELOCCI, A. ; KOPP, G. A ; HOLBROOK, A. *The vowel formants of deaf and normalhearing eleven-to-fourteen-year-old boys*. Journal of Speech and Hear Disord, 29:156-170, 1964
- ANTONINO, P.H.D. *Estudo Preliminar para o Desenvolvimento de um Sistema de Substituição da Visão através da Sensação Tátil, utilizando estimulação Eletrocutânea*. Dissertação de mestrado – UNICAMP, 1993.
- ARAÚJO, A. M. L., & LIMA, M. C. P. M. *Trabalhando a voz de deficientes auditivos com auxílio do computador*. In: Quevedo, A. A. F., Oliveira, J. R. & Mantoan, M. T. E. (org.) *Mobilidade e comunicação: Desafios à tecnologia e à inclusão social*, Campinas: Unicamp, 1999.
- ARAÚJO, A. M. L., *Jogos Computacionais Fonoarticulatórios Para Crianças com Deficiência Auditiva*. Tese de Doutorado – UNICAMP, Brazil, 2000.
- ARONSON, A.E., *Clinical voice disorders: An interdisciplinary approach (2nd edition)*. New York: Thieme Inc, 1995.
- ASAMURA, N., YOKOYAMA, N., SHINODA, H., *Selectively Stimulating Skin Receptors for Tactile Display*. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 18, no. 6, pp. 32-37, Nov. 1998, doi:10.1109/38.734977.
- BACH-y-Rita, Collins. C.C., Saunders, F.A., White, B., Scadden, L.,, *Vision Substitution by Tactile Image Projection*. Nature, Vol. 221, 1969.
- BARBACENA, I.L. ; Freire, R. C. S. ; BARROS, A.T. ; AGUIAR NETO, B.G. ; CARVALHO, E.A.N. ; MACEDO, E.C.T. . *Voice codification evaluation based on a real-time training system with tactile feedback applied to deaf people*. In: I2MTC 2009 - International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009, Singapura, I2MTC 2009 Proceedings, 2009. p. 697-7000;
- BARBACENA, I. L. & BARROS, A.T. & FREIRE, R.C.S & VIEIRA, E.C.A, *Evaluation of pitch coding alternatives for vibrotactile stimulation in speech training of the deaf*. The Journal of Physics: Conference Series 90 (2007) 012092, IOP Publishing., Argentine, 2007.

- BARBACENA, I.L., BARROS, A.T., FREIRE, R. C. S. . *Comparative analysis of tactile sensitivity between blind, deaf and unimpaired people*. Int. J. Advanced Media and Communication, v. 3, p. 215-228, 2009.
- BARROS, A. T. *Estudo de Sistemas de Estimulação Eletrotátil para Percepção de Informações Sonoras*. Dissertação de Mestrado – UFPB, 1996.
- BARROS, A.T., FREIRE, R.C.S. & DEEP, G.S. *Estimulador Vibrotátil de um Canal*. Anais do II Congresso Internacional METROCAL, Associação Chilena de Metrologia, 2001.
- BARROS, A.T., DEEP, G.S. E FREIRE, R.C.S. *Análise de Parâmetros Temporais de Voz para Uso em Dispositivos de Ajuda Tátil*. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, Subárea Engenharia de reabilitação, São José dos Campos, 2002.
- BARROS, A. T., *Investigações sobre Estimulação Tátil Aplicada ao Ensino/aprendizagem da fala*. Tese de Doutorado – UFCG, 2004
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M.A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- BEHLAU M, Russo I. *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*. São Paulo: Lovise; 1993
- BEHLAU, M. & PONTES, P. *Avaliação e tratamento das Disfonias*. São Paulo: Lovise, 1995.
- BEHLAU, M. & PONTES, ZIEMER, R. – *As Bases da Fonação*. São Paulo, 1996.
- BEHLAU M, RODRIGUES S, AZEVEDO R, GONÇALVES MI e PONTES P. *Avaliação e terapia de voz*. In: Lopes Filho O, editor. *Tratado de Fonoaudiologia*. São Paulo: Rocca; 1997. p.607-58.
- BEHLAU, M. *Voz: O livro do especialista*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Revinter, 2005
- BENALI-KHOUDJA, M., Hafez, M., Alexandre, J.-M., & Kheddar, A. (2004). *Tactile interfaces: a state-of-the-art survey*. ISR 2004, 35th International Symposium on Robotics, 23-26 March, Paris, France, 1-9.
- BERQUÓ, E.S.; PACHECO DE SOUZA, J.M.; GOTLIEB, S.L.D.; *Bioestatística 1 ed.* rev São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária Ltda, p. 350, 1981.
- BERNSTEIN, L. E., *The Evaluation of Tactile Aids, em Tactile Aids for The Hearing Impaired*. Ians Summer (ed), Cap 8, Whurr Publishers, London, 1992
- BERNSTEIN, L. E., *Toward Future tactile Aids*. In: Plant, G & Spens Karl-erik (org.) *Profound deafness and speech communication*, Whurr Publishers, Londres, 1995
- BERNSTEIN, L.E., EBERHARDT, S.P., & DEMOREST, M.E. *Single-channel Vibrotactile Supplements to Visual perception of Intonation and Stress*. The Journal of Acoustical Society of America, 85(1), janeiro, 1989
- BLAMEY, P. J. & COWAN, R.S.C. *The Potential Benefit and Cost-effectiveness of Tactile Devices in Comparison with Cochlear Implants*, Cap 9, in *Tactile Aids for The Hearing Impaired*, Ians Summer (ed), Whurr Publishers, London, 1992
- BLAMEY, P. J., COWAN S. C., ALCANTARA J. I. and CLARK G. M., *Phonemic information transmitted by a multichannel electrotactile speech processor*. J. Speech Hear. Res., vol. 31. pp. 620-629, 1988.

- BLISS, J.C.; Katcher, M.H.; Rogers, C.H.; Shepard, R.P.: *Optical-to-Tactile Image Conversion for the Blind*. IEEE Transactions on Man-Machine Systems, vol. MMS-11, no1, 1970.
- BOERSMA, P., *Praat, a system for doing phonetics by computer*. Glot International, 5(9–10):341–345, 2001
- BOGERT, B. P., Healy, M. J. R. and Tukey, J. W., *The frequency analysis of time series for echoes: cepstrum, pseudoautocovariance, cross-cepstrum and saphe-cracking*. In Proceedings Symposium on Time Series Analysis (M. Rosenblatt, ed.) 209-243. Wiley, New York, 1963.
- BOMMARITO S. *O efeito de um método de terapia de voz na qualidade e na inteligibilidade da fala de indivíduos surdos [tese]*. São Paulo: Escola Paulista de Medicina; 2000.
- BOMMARITO S, BEHLAU M. *Ocorrência de muda vocal em deficientes auditivos: análise perceptivo-auditiva e acústica da frequência fundamental*. In: BEHLAU M, organizadora. *A voz do especialista*. Rio de Janeiro: Revinter; 2001. v.1. p.143-50.
- BORING E. G. *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: Appleton-century-crofts, Harvard University, 1942.
- BOOTHROYD, A., *The sense of hearing, In: Speech, Acoustic and Perception Disorders*. Austin, The Pro-ED Studies in Communicative Disorders, 1986.
- BRASIL, Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação Especial, *Subsídios para organização e funcionamento de serviço de educação especial: área de deficiência auditiva*. Brasília: MEC, Série Diretrizes, nº 6, 1995
- BREEUWER, M. & PLOMP, R. *Speechreading Supplemented with Formant-frequency Information from Voiced Speech*. The Journal of Acoustical Society of America, 77(1), janeiro, 1985.
- BRESTOVCI B, BOLFAN-STOSIC N. *Voice quality of hearing - impaired children*. In: Lehmann T, Palm C, Spitzer K, Tolxdorff T, editores. *Advances in quantitative laryngoscopy, voice and speech research*. Proceedings of the 3rd International Workshop Aachen University of Technology, RWTH Aachen, June 19-20;1998. p.33-44. [cited 2004 Jun 17]. Available from: <http://members.fortunecity.com/bebrest/Rad2.htm>
- BOOTHROYD, A., *Speed Acoustics and Perception*, Austin. The Pro-Ed. Studies in Communicative Disorders, 1986.
- BORGES RHM. *Avaliação de voz em deficientes auditivos: uma análise crítica*. In: Ferreira LP, organizadora. *Dissertando sobre Voz*. Carapicuíba: Pró-Fono; 1998. v.2. p.150-71
- BUSH, M.A. *Vowel Articulation and Laryngeal control in the Speech of the Deaf*. Ph.D. dissertation, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology-MIT, 1981
- CASANOVA, J. P. - *Manual de Fonoaudiologia*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1997. 2ª ed.

- CHABA, *Working Group on Communication Aids for the Hearing-Impaired, Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics*. Speech-perception aids for hearing-impaired people: Current status and needed research. *Journal of Acoustical Society of America*. 90 (2) , agosto, 1991.
- CHAN, A., *Designing Haptic Icons to Support an Urgency-Based Turn-Taking Protocol*. M.Sc. Thesis, Computing Science, University of British Columbia, 2004
- CHENGALVARAYAN, R. *Hierarchical Subband Linear Predictive Cepstral (HSLPC) Features for HMM-Based Speech Recognition*. International Conference on Acoustics, and Signal Processing (ICASSP), 1999.
- CHOLEWIAK, R.W. and Collins, A.A., *Human Testing Program for the Sensor Electronics ELan- 01 Tactor*, Under Subcontract 255-4118, 1 Sept 99 - 31 Aug 01, Final Technical Report. The Cutaneous Communication Laboratory at Princeton University, 2001.
- CHOLEWIAK, R.W. and WOLLOWITZ, M., *The design of vibrotactile transducers*. In *Tactile Aids for the Hearing Impaired*, I. Summers (ed). Whurr Publishers Ltd: London, 1992, pp 57-82.
- CRAIG, J.C. and SHERRICK, C.E., *Dynamic Tactile Displays*, in *Tactual Perception: A Sourcebook*, W. Schiff and E. Foulke (ed). Cambridge University Press, pp 209-233, 1982.
- CLARK, W.W. *Noise Expouse from leisure activities*: *Journal Acoustical Society of America*, v. 90, n. 1, p. 175-181, July 1991.
- CUKIER S., CAMARGO, Z., *Abordagem da qualidade vocal em um falante com deficiência auditiva: Aspectos acústicos relevantes do sinal de fala*. *Revista CEFAC*, v.7, n.1, pag 93-101, São Paulo, 2005.
- UNESCO, CONFERÊNCIA MUNDIAL SOBRE NECESSIDADES EM EDUCAÇÃO ESPECIAL. A Declaração de Salamanca sobre princípios. Política e Prática em Educação Especial. 1994.
- COSTA, S.S. da; CRUZ, L.M.; OLIVEIRA, J.A.A. de. e cols. *Otorrinolaringologia - Princípios e Prática*. Ed. Artes Médicas. Porto Alegre. 1994. p. 12-56
- COSTA, F. C., CARMO, J. C., SETTIMI, M. M. e PAULA SANTOS , U., *Programa de Saúde dos Trabalhadores – A Experiência da Zona Norte: Uma Alternativa em Saúde Pública*. Editora Hucitec, São Paulo , 1989.
- CORDEIRO H., MENESES C., *Speaker Characterization with MLSFs*, IEEE Odyssey 2006: The Speaker and language Recognition, Workshop San Juan, Porto Rico, Jun 2006.
- DAJER, M. E. *Padrões Visuais de Sinais de Voz através de Técnica de Análise de Não-Linear*. Dissertação. Bioengenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2006.
- DAVIS, H. & SILVERMAN, S. R. *Auditory Test Hearing Aids*. In: DAVIS, H.; SILVERMAN, S.R. *Hearing and Deafness.*, Holt: Rinehart and Winston, 1970.
- DELLER Jr. R., PROAKIS, J. G., and HANSEN, J. H. L. *Discrete-time Processing of Speech Signals*. Macmillan Publishing Co., 1993.
- DELLER Jr., J. R., HANSEN, J. H. L., PROAKIS, J. G., *Discrete-Time Processing of Speech Signals*. Wiley-IEEE, 2000.

- DEJONCKERE, P. H.; BRADLEY, P.; CLEMENTE, P.; CORNUT, G.; CREVIER-BUCHMAN, L.; FRIEDRICH, G.; HEYNING, V. DE P.; REMACLE, M.; WOISARD, V. *A basic protocol for functional assessment of voice pathology, specially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques: guideline elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS)*. Eur. Arch. Otorhinolaryngol., Heidelberg, v. 258, p. 77-82, 2001.
- DORZIAT, A. *Metodologias específicas ao ensino de surdos: análise crítica*. São Paulo, SP: UFSCAR, 2000.
- DRACUP, C., *Hypothesis testing – What it really is*. The Psychologist V. 8, p. 359-62, 1995.
- DURBIN J., *Efficient Estimation of Parameters in Moving-Average Models*. Biometrika, 46(3-4):306_316, 1959.
- EBERHARDT, S.P., BERNSTEIN, L.E., DEMOREST, M.E., GOLDSTEIN JR, M.H. *Speechreading Sentences with Single-channel Vibrotactile Presentation of Voice Fundamental Frequency*. Journal Of Acoustical Society of America, vol 88, 3, setembro, 1990.
- EMANUEL, D., LETOWSKI, S., and LETOWSKI, T. (2009). *The decibel*. In: Emanuel, D., and Letowski, T., *Hearing Science*. Baltimore, MD: Lippincott, Williams, and Wilkins.
- FECHINE, J.M. *Reconhecimento Automático de Identidade Vocal Utilizando Modelagem Híbrida: Paramétrica e Estatística*. Tese de Doutorado – UFPB, 2000.
- FELDMAN, S. & GRIMES, C.T. *Hearing conservation in industry*. Baltimore, 1985.
- FELIPE, Tanya A. *LIBRAS em contexto: Curso básico: Livro do estudante*. 8ª ed. Rio de Janeiro: WalPrint, 2007.
- FERREIRA JUNIOR, M. *Perda auditiva induzida por ruído*, PAIR:bom senso e consenso. São Paulo: Editora VK; 1998.
- FLETCHER, H. e MUNSON, W. A. *Loudness, its definition, measurement and calculation*, The Journal of the Acoustical Society of America, 5(2):82–108, 1933. URL: <http://link.aip.org/link/?JAS/5/82/1>.
- FLEURI, Reinaldo Matias. *Propostas curriculares: entre o oficial e o alternativo*. 23ª Reunião Anual da ANPEd. 26/09/2000, Caxambu - MG.
- FOLMER-JOHNSON, Tore N. O. *Oscilações, ondas, acústica*. São Paulo: Nobel, 1968.
- FREMAN, Roger D., CARBIN, Crifton F, BOESE, Roberto J. *Seu filho não escuta? Um guia para todos que lidam com crianças surdas*. Brasília: MEC/SEESP, 1999.
- GAULT, R.H. *Progress in Experiments on Tactual Interpretations of Oral Speech*. Journal of Abnormality Society Psychological. V19, 1924.
- GERGES, S., *Ruído: Fundamentos e Controle*, 2. ed., Florianópolis. NR Editora, 2000.
- GELDARD, F.A., "Adventures in tactile literacy." The American Psychologist 12, 1957, pp 115–124.

- GELDARD, F. A., *Some neglected possibilities of communication*. Science, 131:1583-1588, 1960.
- GELDARD, K. & Geldard, D. *Counselling Children: A Practical Introduction*. London: SAGE Publications, 1997.
- GERHARD, D., *Pitch Extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques*, technical report, Dept. of Computer Science, University of Regina, 2003.
- GIUSTI MC. *Análise comparativa dos parâmetros acústicos vocais em crianças ouvintes e portadoras de disacusia severa e profunda* [monografia]. São Paulo: Centro de Estudos da Voz; 2000.
- GODINO-LLORENTE, J.I.; GOMES-VILDA,P.; BLANCO-VELASCO, M. *Dimensionality reduction of a pathological voice quality assesment system based on gaussian mixture models and short-term cepstral parameters*. In: IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, Vol. 53, No. 10, p. 1943-1953. Outubro, 2006
- GOFF, G.D., "Differential discrimination of frequency of cutaneous mechanical vibration". Journal of Experimental Psychology 74 (2), 1967, pp 294-299.
- GOLDFELD, Márcia. *A criança surda: linguagem e cognição numa perspectiva sócio-interacionista*. São Paulo: Plexus, 1997.
- GOLD, B. & RABINER, L.R. *Parallel processing techniques for estimating pitch periods of speech in the time domain*. Journal of the Acoustical Society of America, 34(7):916-921, 1969.
- GOLDSTEIN, M.H. & PROCTOR, A, *Tactile Aids for Profoundly Deaf Children*. Journal of Acoustical Society of America. 77 ,1985.
- GOLDSTEIN, E. B. *Sensation and Perception*. Pacific Grove, Brooks/Cole, 1999.
- GRANT,K.W. *Encoding Voice Pitch for profoundly Hearing-impaired Listeners*. The Journal of Acoustical Society of America, 82, 1987
- GRANT, K.W., ARDELL, L., KUHL,P. & SPARKS,D. *The Contribution of Fundamental Frequency, Amplitude Envelope, and Voicing-duration Cues to Speechreading in normal-hearing Subjects*. The Journal of the Acoustical Society of America, 77, 1985.
- GRECO, M. *Interdisciplinaridade e Revolução do cérebro*. São Paulo: Pancast Editora, 1994.
- GUNTER, E., *Skinscape: A Tool for Composition in the Tactile Modality*, M.Eng. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, 2001
- GUYTON .A. C. *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro, Guanabara, Koogan, 1997.
- GUYTON, A. C.. *Fisiologia Humana* (6a ed.), Editora Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1988.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Fisiologia Humana e Mecanismos das doenças*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
- HAIR, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. & Black, W.C. (1998). *Multivariate data analysis* (5th ed.; cap. 4, 141-216). New Jersey: Prentice-Hall. [Análise multivariada de dados; Porto Alegre: Bookman].

- HIRANO, M. *Laryngeal Histopathology*. In COLTON, R., CASPER, J. *Understanding Voice Problems. A Physiological Perspective of the Diagnosis and Treatment*. 2th Ed. Baltimor: Williams & wilkins, 1996.
- HIRANO, M., BLESS, D.M. *Videoendoscopic Examination of the Larynx*. San Diego: Singular Publishing Group Inc., 1993.
- HUDGINS, C.V. *Visual Aids in the Correction of Speech*, *Volta Review* 37, 637-643, 1935.
- ITO, R. I. - "Algoritmos de Detecção da Frequência de Pitch do Sinal de Voz". Relatório Técnico - Científico, Belém - Pará, Julho, 1997.
- ITU-T Recommend. P800, *Methods for subjective determination of transmission quality*, 1996.
- KACZMAREK, K.A; Webster, J.G.; Bach-y-Rita, P.; Tompkins, W.J.: *Electrotactile and Vibractile Displays for Sensory Substitution Systems*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 38, no 1, 1991.
- KACZMAREK, K.A; Webster, J.G.; Radwin, R.G. .: *Maximal Dynamic Range Electrotactile Stimulation Waveform*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 39, no 7, 1992.
- KAJIMOTO, H., Inami, M., Kawakami, N., Tachi, S., *SmartTouch: Augmentation of skin sensation with electrocutaneous display*, in *Proc. of the 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, (Haptic Symposium 2003), Los Angeles pp.40-46, Mar 2003
- KENT, R. D. & READ, C. *The acoustic analysis of speech*. San Diego: Singular Publishing, 1992.
- KROM G. de. *A cepstrum-based Technique for Determining a Harmonics-to-noise Ratio in Speech Signals*. *J. Speech, Hearing Res.*, vol. 36, n. 2, pages 254-266, Apr. 1993.
- KROM, G.. *Some spectral correlates of pathological breathy and rough voice quality for different types of vowel fragments*. *J. Speech. Hear. Res.*, Vol. 38: 794-811, 1995.
- HIIPAKKA, M.; TIKANDER, M.; KARJALAINEN, M., *Modeling the External Ear Acoustics for Insert Headphone Usage*, *Journal. Audio Eng.*, V.58, N.4, pag.269—281, Finland, April, 2010
- IKEI, Y., Wakamatsu, K., Fukuda, S., *Texture Presentation by Vibratory Tactile Display*, *IEEE Annual Virtual Reality International Symposium*, pp. 199-205, 1997.
- LAKANIEMI, A., J. ROSTI and V. I. RAISAENEN, *SubjectiveVoIP speech quality evaluation based on network measurements*, in *Conf. Rec. IEEE ICC 2001*, pp. 748-752, June 2001.
- LAURENTI, R. et al. *Estatística da saúde*. São Paulo: EPU, 1985.
- LEJSKA M. *Voice field measurements: a new method of examination: the influence of hearing on the human voice*. *J Voice* 2004;18(2):209-15.
- LIMA MCMP. *Avaliação de fala de lactentes no período pré-lingüístico: uma proposta para triagem de problemas auditivos [tese]*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 1997.

- LOIZOU, P., Colea: A matlab software tool for speech analysis. [Online] Retrieved March 18, 2003, from <http://www.utdallas.edu/~loizou/speech/colea.htm>
- LOIZOU P. *A matlab software tool for speech analysis*, Department of Electrical Engineering, University of Texas at Dallas, 1998.
- LOPES, D. C. J.; OLIVEIRA, I. B.; C., M. S. . *Avaliação da voz e fala de surdos após a aplicação de um procedimento terapêutico computadorizado*. *Distúrbios da Comunicação*, 20(2): 183-192, São Paulo, agosto, 2008.
- MANDIM, Daniel. *Estatística Descomplicada*. 10. ed. Brasília: Vestcon Editora Ltda., 2003.
- MARKEL, J.D. *The SIFT algorithm for fundamental frequency estimation*. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 20: 367–377, 1972.
- MARKEL, J. D. & GRAY, A. H. *Linear prediction of speech*. New York: Springer-Verlag, 1976.
- MARPLE, S. L. JR., *Digital Spectral Analysis with Applications*, New York, Prentice-Hall, 1987.
- MARTINS, M.R., "Ouvir Falar", Editora Caminho, Lisboa, 1988.
- MARTINS, J. A , *Avaliação de Diferentes Técnicas para Reconhecimento de Fala*, Tese de Doutorado, Unicamp, 1997.
- MASHIE, J. *The use of sensory aids for teaching speech to children who are deaf*. In: Plant, G & Spens Karl-erik (org.) *Profound deafness and speech communication*, Whurr Publishers, Londres, 1995.
- MASSEY, F. J. "The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit." *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 46, No. 253, 1951, pp. 68–78.
- MOORE, B. C. J., *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 3rd ed., San Diego, Academic Press, 1989.
- MORTIMER, B., Zets, G., and Cholewiak, R., *Vibrotactile Transduction*, submitted to *Journal of the Acoustic Society of America*, 2006, pp.
- MOURA MC, LODIi ACB, HARRISON KMP. *História e educação: o surdo, a oralidade e o uso de sinais*. In: Lopes O. *Tratado de Fonoaudiologia*. São Paulo: Roca; 1997. p.327-57.
- NEPOMUCENO, Lauro X. *Acústica técnica*. São Paulo: ETEGIL, 1968.
- NETO, C. "Estatística", *Edgard Blucher*. São Paulo, 2002.
- NOHAMA, Percy. *Investigação em Propriocepção Artificial*. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação – Departamento de Engenharia Biomédica - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.
- NOLL, A. M. *Cepstrum pitch determination*, *Journal of the Acoustical Society of America*, (41):293-309, Feb. 1967.
- NOLL, P., *Adaptative Quantizing in Speech Coding Systems*, In *Int. Zurich Seminar on Digital Comm.*, pp. B3.1-B3.6, IEEE, 1974.
- NOHAMA, Percy. *Investigação em Propriocepção Artificial*. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação – Departamento de Engenharia Biomédica - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

- NOVAES, B.C. & MENDES, B.C.A. *O IBM Speechviewer II na Terapia Fonoaudiológica*, Capítulo XII, em *A Tecnologia Informática na fonoaudiologia*, Flávia Benevides Foz e outros, Ed. Plexus, São Paulo, 1998.
- OBAIDAT M. S., BRODZIT A. and Sadoun B. *A performance evaluation study of four wavelet algorithms for the Pitch period estimation of speech signals*, Information Sciences, Vol. 112, Issues 1-4, Pages 213-221, December 1998.
- O'Shaughnessy, D *Speaker Recognition*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing Magazine, pages 4-17, October 1986.
- OLIVEIRA, P.M.T. *Auxílio Visual à Oralização de Surdos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1998.
- OLIVEIRA, José A. A. de. *Fisiologia Clínica da Audição*. In.: NUDELMANN, Alberto A.; COSTA, Everaldo A. da; SELIGMANN, Jose & IBAÑEZ, Raul N. [et al.] PAIR: Perda Auditiva Induzida pelo Ruído. Porto Alegre. Bagagem Comunicações Ltda, 1997. p. 101-140.
- PARRAGA, A. *Aplicação da Transformada Wavelet Packet na Análise e Classificação de Sinais de Vozes Patológicas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, 2002.
- PHILLIPS, J.R. and JOHNSON, K.O., *Neural Mechanisms of Scanned and Stationary Touch*, Journal of the Acoustical Society of America 77 (1), 1984, pp 220-224
- PICONE, J. W. *Signal modeling techniques in speech recognition*. Proceedings of the IEEE, 81(9):1215-1247, Sep. 1993.
- PIMENTEL-SOUZA F., *A Poluição Sonora ataca traiçoeiramente o corpo*. In Associação Mineira de Defesa do Meio Ambiente (AMDA), Apostila "Meio Ambiente em Diversos Enfoques", Projeto Jambreiro, AMDA, Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Secretaria Municipal da Educação, BH, p24-26. 1992.
- PINHO SR. *Proposta de avaliação da voz no deficiente auditivo*. Pró-Fono Revista de Atualização Científica. 1990; 2:17-9.
- PINHO, W.S., SOUZA, M.N., PLOMBON, D., HALASZ, M.T. e TUJAL, P.M., *Estimulação Global para Surdos*, Anais do XIV Encontro Internacional de Audiologia, Rio de Janeiro, p. 109, março 1999.
- POUPYREV, I., Rekimoto, J., and Maruyama, S., *TouchEngine: A Tactile Display for Handheld Devices*, in Extended Abstracts of CHI 2002, ACM Press (2002), pp 644 – 645.
- RABINER, L. R., LEVINSON, S. E., and SONDHI, M. M. *On the Application of Vector Quantization and Hidden Markov Models to Speaker-independent, Isolated Word Recognition*. The Bell System Technical Journal, Vol. 62, No. 4, pages 1075-1105, April 1983.
- RABINER, L. R., JUANG, B. H., LEVINSON, S. E., and SONDHI, M. M. *Recognition of Isolated Digits Using Hidden Markov Models with Continuous Mixture Densities*. AT & T Technical Journal, Vol. 64, No. 6, pages 1211-1234, July-August 1985.

- RABINER L. & Biing-Hwag Juang, *Fundamentals of Speech Recognitions*, Prentice Hall Signal Processing Series. Allan V. Oppenheim, Series Editor. Prentice Hall Company– New Jersey – October/2000.
- RABINER, L.R. & SCHAFER, R.W. *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall, 1978.
- RAGHRAM, R., *Pitch and voicing determination of speech signals*. Master's thesis, Indian Institute of Technology, Madras, 2002.
- RAMOS S. *Análise prosódica da fala do deficiente auditivo: parâmetros de duração e frequência fundamental* [dissertação]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2000.
- RANGO F., TROPEA M., FAZIO P. & MARANO S., *Overview on VoIP: Subjective and Objective Measurement Methods*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.6 No.1B, January 2006.
- RIBEIRO, C. M., *Lafa - Laboratório de Fala*, JETC'05 Jornadas de Engenharia de Telecomunicações e Computadores, ISEL, Lisboa, 2005.
- RISSET, J.-C., & D. WESSEL. *Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis*, in D. Deutsch, ed. *Psychology of Music*. San Diego, California: Academic Press, p.25-58, 1982.
- ROTHENBERG, M., et al., *Vibrotactile frequency for encoding a speech parameter*, The Journal of the Acoustical Society of America 62, 1977, pp 1003–1012.
- ROUAT, J., LIU, Y. C. And MORISSETTE D.,. A pitch determination and voiced/unvoiced decision algorithm for noisy speech. *Speech Comm.*, 21:191–207, 1997
- RUSSO, I. C. P. & BEHLAU, M., *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*, São Paulo: Lovise, 1993.
- Russo, I. C. P. *Acústica e Psicoacústica Aplicada à Fonoaudiologia*. 2. ed. São Paulo: Editora Lovise Ltda, 1999.
- SADATOA, N., Okadaa, T., Kubotac, K. and Yonekurad, Y. *Tactile discrimination activates the visual cortex of the recently blind naive to Braille: a functional magnetic resonance imaging study in humans*, *Neuroscience Letters* Vol. 359 pp. 49–52, February, 2004.
- SANTOS, M. T. *Uma análise espectrográfica dos sons fricativos surdos e sonoros do português brasileiro*. Monografia – Especialização – Escola Paulista de Medicina. São Paulo, 1987.
- SANTOS, J. *Efeito da melanina na perda auditiva induzida por ruído (PAIR) experimental*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Fonoaudiologia) - Universidade de Franca, Franca, 2001.
- SCHAUWERS, K.; GILLIS, S.; DAEMERS, K.; DE BEUKELAER, C.; GOVAERTS, P. J. *Cochlear implantation between 5 and 20 months of age: the onset of babbling and the audiologic outcome*. *Otol. Neurotol.*, Hagerstown, v. 3, n. 25, p. 263-270, maio 2004.
- SHERRICK, C.E. and CRAIG, J.C., *The Psychophysics of Touch*, in *Tactual Perception: A Sourcebook*, W. Schiff and E. Foulke (ed). Cambridge University Press, 1982, pp 55-81

- SCHMIDT, R. F. *Fisiologia Sensorial*, Editora: Pedagógica e Universal, SPRINGER e EDUSP, São Paulo, 1980.
- SHERRICK, C.E, *Basic and Applied Research on Tactile Aids for Deaf people: progress and prospects*. Journal of Acoustics Society of America, 75, 1984.
- SIEGEL, S. and CASTELLAN, N. J., *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. New York: McGraw-Hill, 1988, Inc.
- SILVA, Tomaz.T. *Contrabando, incidentes de fronteira: ensaios de estudos culturais em educação*. Porto Alegre. 1998.
- SKLIAR, C. *Os Estudos Surdos em Educação: Problematizando a Normalidade* (Capítulo 1). Em *A Surdez, Um Olhar sobre as Diferenças*. Carlos Skliar (editor), Editora Mediação, 2ª Ed., Porto Alegre, 2001.
- SÖDERLUND, G. *Tactiling and tactile Aids: A User's Viewpoint*. In: Plant, G & Spens Karl-erik (org.) *Profound deafness and speech communication*, Whurr Publishers, Londres, 1995.
- SONDHI, M. M. *New methods of pitch extraction*. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, AU-16(2):262-266, Jun. 1968.
- SUKKAR, R. S., LOCICERO, J. L. & PICONE, J. *Design. and implementation of a parallel processing based pitch detector*. IEEE Journal of Selected Areas on Communications, 6(2):441-451, Feb. 1988.
- SPINELLI, V.P., MASSARI, I.C.& TRENCH, M.C.B. *Distúrbios Articulatorios*. In. *Temas de Fonoaudiologia*, Edições Loyola, São Paulo, 1999.
- SPISZ, T.S.; Weed, H.R.: *An Image Acquisition Subsystem for Tactile Vision Substitution*. Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 13, no 4, 1991.
- STERNE, T.A. & ZIMMERMAN, H.J., *A thyatron indicator for teaching the deaf*, Journal of Science instrumentation. 16, 334-336, 1939.
- STROBEL, *Surdos: vestígios culturais não registrados na história*. Dissertação de mestrado em fase de elaboração, na área de educação GES / UFSC, 2006.
- SUMMERS, I.R., *Signal Processing Strategies for Single-Channel Systems*, in *Tactile Aids for the Hearing Impaired*, I.R. Summers (ed). Whurr Publishers: London., 1992, pp 110-127
- SUMMERS, I. R., GRATTON, D. A. *Choice of Speech Features for Tactile Presentation to the Profoundly Deaf*, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, vol 3, No 1, março, 1995.
- STENTSON, R. *Motor Phonetics*. Extrait des Archives Néerlandais de Phonétique Expérimentale, 1928.
- SZETO, A Y. J. & CHRISTENSEN, K. M. *Technological Devices for Deafblind Children: Needs and Potential Impacts*, IEEE Engineering in Medical and Biology Magazine, setembro, 1988.
- STETSON, R. H. J. *Motor phonetics*, Archives Néerlandaises de la Phonétique Expérimentale, 3, 1-216. (Reprinted in an expanded edition as: Kelso, J. A. S., & Munhall, K. G. [Eds.][1988], R. H. Stetson's motor phonetics: A retrospective edition. Boston, MA: College-Hill).

- TAN, H. Z., DURLACH, N. I. & RABINOWITZ, W. M., *Information transmission with a multi-finger tactual display*. Perception & Psychophysics, 61(6), 993-1008, 1999.
- TEIXEIRA, C. F., *Estudo avaliativo da política de atenção à saúde auditiva: estudo de caso em Pernambuco*, Tese de Doutorado, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2007.
- TERNSTROM S. *Does the acoustic waveform mirror the voice?* Logoped Phoniatr Vocol; 30:100-7, 2005.
- THORNTON, A.R.D. & PHILLIPS, A.J. *A Comparative Trial of Four Vibrotactile Aids* (cap 11), em *Tactile Aids for The Hearing Impaired*, Ians Summer (ed), Whurr Publishers, London, 1992.
- VAN DOREN, C.L., Gescheider, G.A., and Verillo, R.T., *Vibrotactile temporal gap detection as a function of age*, Journal of the Acoustical Society of America 87 (5), 1990, pp 2201-2206.
- VERRILHO, R.T. *Effect of contactor area on the vibrotactile threshold*. J. Acoust. Soc. Am. 35, pp. 1962-1966, 1963.
- VERRILHO, R.T. and Gescheider, G.A., *Perception via the sense of touch*, in *Tactile Aids for the Hearing Impaired*, I.R. Summers (ed). Whurr Publishers: London., 1992, pp 1-36.
- VIEIRA, M. N. *Módulo Frontal para um Sistema de Reconhecimento Automático de Voz*. Universidade de Campinas - Dissertação de Mestrado, Dezembro 1989.
- VIEIRA, S. "Análise de variância (ANOVA)", *ATLAS*, São Paulo, Brazil, 2006.
- WATANABE, Akira. *Speech Visualization System as a Basis for Speech Training and Communication Aids*, capítulo 24, em *Profound Deafness and Speech Communication*, Geoff Plant e Karl-Erik Spens (Eds), Whurr Publishers, London, 1995
- WEISENBERGER, J.M. *Communication of the Acoustic Environment via Tactile Stimuli* (chapter 4), in *Tactile Aids for The Hearing Impaired*, Ians Summer (ed), Whurr Publishers, London, 1992.
- WILLIAMS, P. J., *Mechanisms of Disease: Genetic Causes of Hearing Loss*, N Eng J Med 342:1101-1109, 2003.
- WINCKEL, Fritz. *Music, sound and sensation*. Dover Publications, Inc. 1967.
- WIRZ S. A voz do surdo. In: Fawcus M, editora. *Disfonias diagnóstico e tratamento*. 2a ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2001
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Matheus Global burden of hearing loss in the 2000*. Management of low vision in children: report of a WHO, consultation. Bangkok, 1992. p. 93-27.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Deafness and hearing impairment. Fact Sheet*, Geneva, n. 300, Mar. 2006. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/en/index.html>>. Acesso em: 18 Agosto 2009.
- ZEMLIN, W.R. *Princípios de Anatomia e Fisiologia em Fonoaudiologia*. Porto Alegre: Artmed: 2000

ZITTA, S. M. Análise Perceptivo-Auditiva e Acústica em Mulheres com Nódulos Vocais. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-PR. Curitiba, Paraná, 2005.

A pên**dices**

APENDICE A – Diagrama eletrônico da placa do gerador de sinais

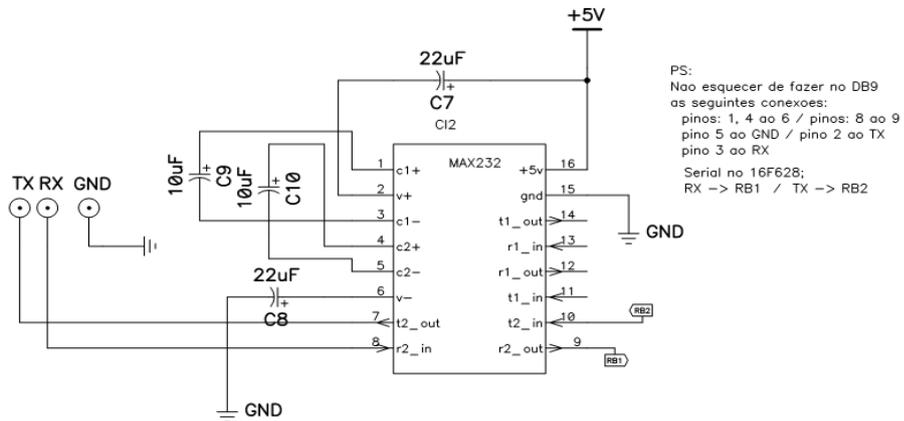


Figura A1 – Ligações do MAX232

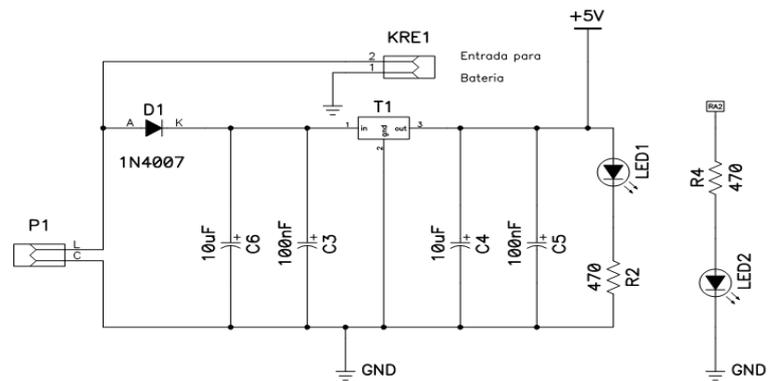


Figura A2 – Fonte de alimentação

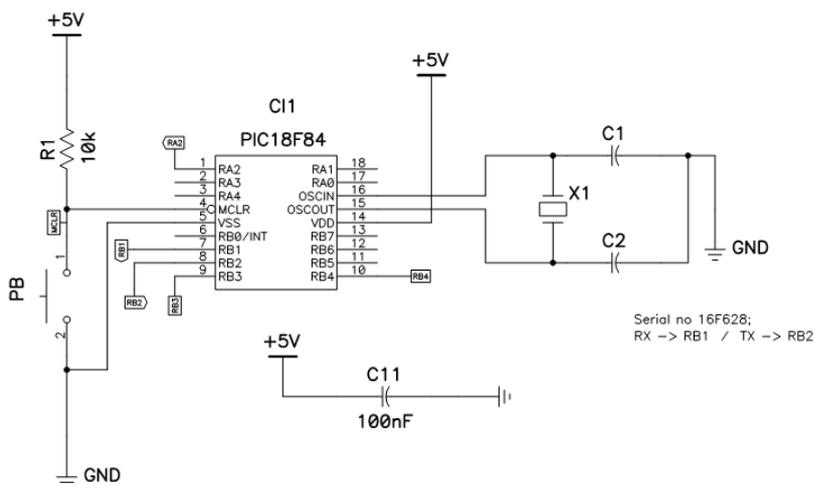


Figura A3 – Ligações do microcontrolador

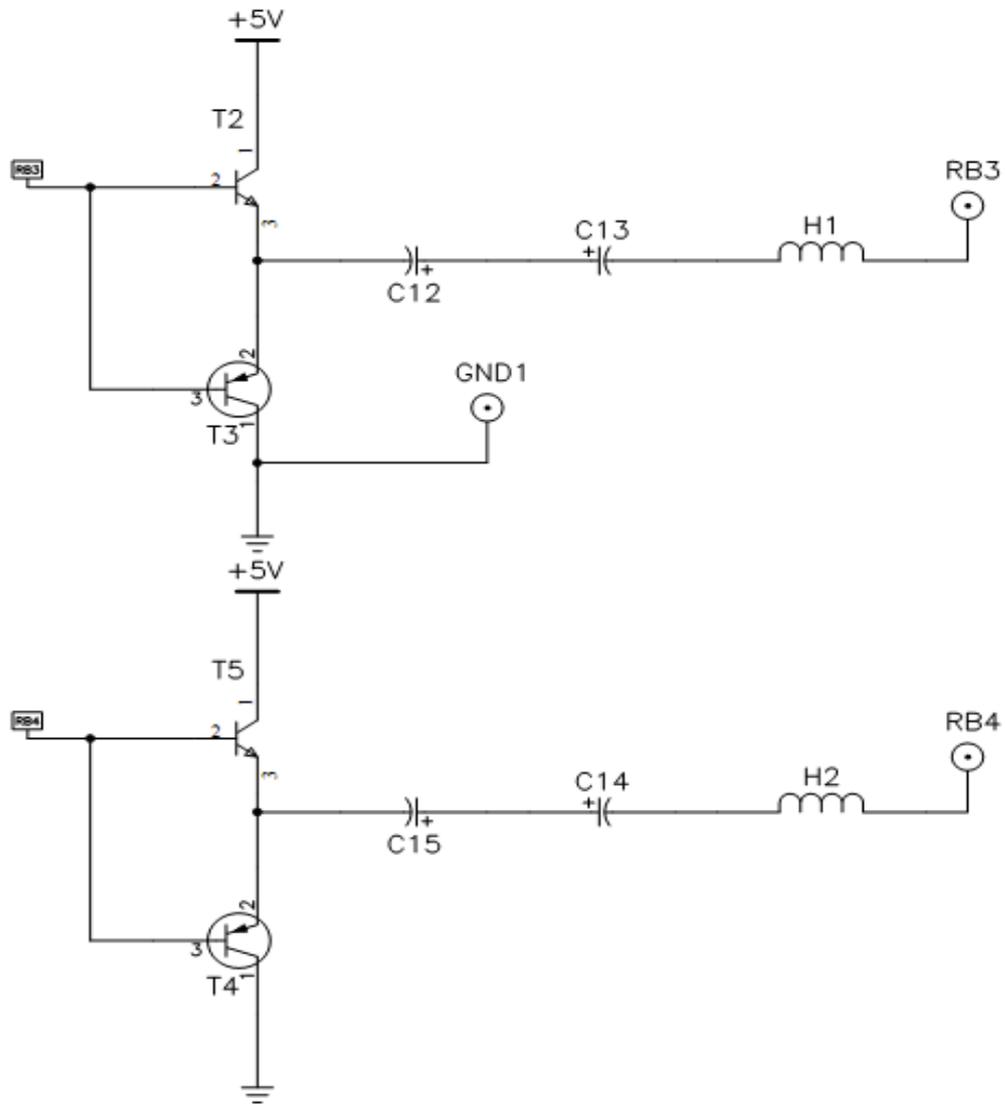


Figura A4 – Interface com o sensor tátil

APENDICE B – TERMO DE COMPROMISSO E CERTIDÃO DO COMITÊ DE ÉTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Esta pesquisa intitula-se *Investigação em Tempo Real do emprego de Transformações Discretas no Mapeamento da Frequência Fundamental da Voz em Estímulos Vibráteis Aplicados ao Ensino da Fala* e está sendo desenvolvida por **Ilton Luiz Barbacena**, aluno de doutorado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, com sede na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba.

O objetivo desta pesquisa é verificar o funcionamento de sistema em tempo real, envolvendo software e equipamento adicional, com finalidade de auxiliar deficientes auditivos no aprendizado da fala na entonação normal ou compatível com pessoas ouvintes de mesma idade e sexo. Sua participação nesta pesquisa poderá contribuir, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento científico voltado para a comunidade portadora de deficiência auditiva. Sua participação não acarretará nenhum risco aparente a sua saúde.

Sua participação é voluntária e, portanto o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo(a) pesquisador(a). Caso decida não participar da pesquisa, ou resolva desistir a qualquer momento, você não sofrerá nenhum dano, prejuízo, nem haverá modificação na assistência que vem recebendo na Instituição (quando for o caso). Para o desenvolvimento desta pesquisa serão realizado os seguintes procedimentos:

- O indivíduo produz uma voz sustentada no microfone
- O sistema avalia o pitch ou a frequência fundamental inicial, da voz do indivíduo
- O pesquisador define os parâmetros que seguirão os próximos passos
- O sistema gera uma vibração padrão ou alvo, no sensor tátil (o sensor deve estar na ponta dos dedos do indivíduo, seguro por ele), e inicia-se o treinamento
- O indivíduo produz uma voz sustentada no microfone e recebe uma vibração equivalente a mesma no sensor tátil, e, fica comparando com a vibração padrão
- O objetivo final é o indivíduo produzir uma voz equivalente a vibração padrão
- O sistema grava todos os passos automaticamente

Solicito sua permissão para que seja gravado os resultados, como também sua autorização para apresentar estes resultados em eventos científicos e publicar em revista científica. Será garantida a privacidade dos dados e informações fornecidas, que se manterão em caráter confidencial. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em completo sigilo.

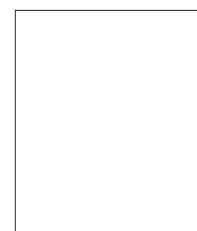
O pesquisador responsável estará a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário, em qualquer etapa da pesquisa.

Fica registrado, também, que tenho conhecimento de que estas informações, serão usadas pelo pesquisador responsável pela pesquisa, com propósitos científicos.

Eu, _____, declaro que fui devidamente esclarecido(a) e dou meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia deste documento.

João Pessoa, ____ de _____ de 200__

Assinatura do Participante da Pesquisa ou Responsável Legal



(Polegar direito)

Testemunha

Assinatura do Pesquisador

Endereço do pesquisador (UFCG): Rua da Aurora, 201, Miramar, J Pessoa – PB

Fone: 83 3244-8555 / 8814-8557, Email:iltonlb@gmail.com

Autorização do Comitê de Ética

**ESTADO DA PARAÍBA
SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**

C E R T I D ã O

Certifico que o Comitê de Ética em Pesquisa da Secretaria de Estado da Saúde da Paraíba – CEP/SES-PB, em sua 44ª Reunião Ordinária realizada em 29.07.2008, com base na Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS que regulamenta a ética na pesquisa em seres humanos, aprovou o parecer referente ao Projeto de Pesquisa **“Investigação em tempo real do emprego de transformações discretas no mapeamento da frequência fundamental da voz em estímulos vibráteis aplicados ao ensino da fala”** do pesquisador responsável Ilton Luiz Barbacena.

Esta Certidão é provisória, para fins de execução da referida pesquisa, ficando sob a responsabilidade do pesquisador entregar ao CEP/SES-PB o relatório final de conclusão da pesquisa, ocasião em que será emitida certidão definitiva, nos termos das atribuições conferidas ao CEP pela Resolução já citada.

Encaminhe-se ao pesquisador interessado.

João Pessoa, 04 de agosto de 2008.


Uirama Carolina Maranhão Trindade
Coordenadora do CEP-SES/PB

APENDICE C – TELAS DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade da voz

Usuário

Senha

Novo? Cadastre-se aqui!



Tela de login / Avaliadores e gerente da pesquisa

 Avaliar  Ver Avaliacoes Realizadas  Desconectar

Avaliações Realizadas

Voluntario ↕	Frase ↕	Avaliacao
8	Mapa do Brasil	POUCO_MELHOR
9	Casa do Pato	MELHOR
10	Mapa do Brasil	MELHOR
11	Casa do Pato	MELHOR
12	Mapa do Brasil	MELHOR
13	Casa do Pato	POUCO_MELHOR
14	Mapa do Brasil	MELHOR
15	Casa do Pato	MELHOR
16	Mapa do Brasil	POUCO_MELHOR
17	Casa do Pato	MUITO_MELHOR
18	Mapa do Brasil	MUITO_MELHOR
19	Casa do Pato	MELHOR
20	Mapa do Brasil	POUCO_MELHOR
21	Casa do Pato	POUCO_MELHOR
22	Mapa do Brasil	POUCO_MELHOR

Tela de Avaliações Realizadas / Avaliadores

 Avaliar
  Ver Avaliações Realizadas
  Desconectar

Bem vindo, itonib!

Avaliações a Serem Feitas

Voluntário	Frase #	Audio Anterior	Audio Posterior	Houve progresso?	Submeter Avaliação
1	Casa do Pato			Não Avaliado	
2	Mopa do Brasil			Não Avaliado	
3	Casa do Pato			Não Avaliado	
4	Mopa do Brasil			Não Avaliado	
5	Casa do Pato			Não Avaliado	
6	Mopa do Brasil			Não Avaliado	
7	Casa do Pato			Não Avaliado	

Avaliações Realizadas

Voluntário #	Frase #	Avaliação	Avaliar Novamente
8	Mopa do Brasil	POUCO_MELHOR	
9	Casa do Pato	MELHOR	
10	Mopa do Brasil	MELHOR	
11	Casa do Pato	MELHOR	
12	Mopa do Brasil	MELHOR	
13	Casa do Pato	POUCO_MELHOR	
14	Mopa do Brasil	MELHOR	
15	Casa do Pato	MELHOR	
16	Mopa do Brasil	POUCO_MELHOR	
17	Casa do Pato	MUITO_MELHOR	
18	Mopa do Brasil	MUITO_MELHOR	
19	Casa do Pato	MELHOR	
20	Mopa do Brasil	POUCO_MELHOR	
21	Casa do Pato	POUCO_MELHOR	
22	Mopa do Brasil	POUCO_MELHOR	



Tela de Avaliação / Avaliadores



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade da voz

Tela de cadastro de avaliadores / Avaliadores

AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA QUALIDADE DA VOZ

Obrigado por participar deste processo de avaliação da voz de voluntários com deficiência auditiva que foram submetidos a um treinamento para correção da frequência fundamental de sua voz. Para participar da avaliação, é necessário que seu computador esteja conectado a um dispositivo de saída de áudio (alto-falantes embutidos ou caixas de som) e que em seu navegador (Internet Explorer, Firefox, Opera, etc) tenha um *plugin* para ouvir o som.

Durante a avaliação, você vai escutar a fala de apenas um voluntário por vez, e deverá confirmar sua opinião apenas quando estiver certo da sua escolha. Ao confirmar a avaliação de um voluntário, a opção para avaliação deste não mais estará disponível na tabela de voluntários para avaliação. A sua avaliação será computada no resultado desta pesquisa apenas após você confirmar a avaliação de todos as falas dos voluntários. Entretanto, você pode avaliar alguns voluntários, desconectar-se do sistema e depois se conectar novamente para concluir as avaliações que ainda não tiverem sido realizadas (por exemplo, no dia seguinte!). Ao conectar-se no sistema, você tem a opção de verificar suas avaliações já realizadas.

Por favor, siga atentamente as instrução que se seguem para proceder a avaliação de cada fala do voluntário:

1. Cada linha da tabela de avaliação corresponde a avaliação de apenas uma fala do voluntário e contém: (a) a frase pronunciada pelo voluntário ("Casa do Pato" ou "Mapa do Brasil"); (b) gravação do som antes e depois de 6 (seis) sessões de treinamento / correção da frequência fundamental; (c) coluna para fazer a avaliação comparativa; e (d) coluna para concluir a avaliação.
2. Para escutar a mesma frase gravada pelo voluntário antes e após o processo, clique no símbolo correspondente àquele voluntário na coluna **Áudio Anterior** e **Posterior**. Será aberto uma janela para cada situação, onde você poderá ouvir mais de uma vez a fala do voluntário, antes de decidir sua avaliação. É sugerido ouvir pelo menos 3 vezes cada fala, usando o controle do áudio no ícone do player após o download do arquivo de voz. Se sua conexão de internet estiver lenta, a primeira escuta ficará comprometida, devendo repetir esta escuta mais de uma vez.
3. Houve progresso? Para avaliar o progresso do voluntário, escolha uma opção (Igual, Pouco Melhor, Melhor e Muito Melhor), sua avaliação será confirmada somente após clicar no botão da coluna **Submeter Avaliação**. Com a confirmação é adicionado uma linha na parte de Avaliações realizadas.

Lembre-se que os deficientes auditivos têm dificuldades para falar e, por esta razão, muitas vezes a frase parece incompreensível. Sua avaliação será comparativa em relação a melhoria da qualidade da fala da mesma frase.

Sua participação é muito importante para a nossa pesquisa! Esta pesquisa faz parte de um programa de doutoramento em andamento na **Universidade Federal de Campina Grande**, para avaliação e validação dos procedimentos utilizados para a correção da frequência fundamental da voz de voluntários com deficiência auditiva.

Se você já estiver cadastrado, após clicar em *Continue*, digite seu *nome de usuário* e *senha*, se não, cadastre-se e em seguida digite seu *nome de usuário* e *senha* para começar a avaliação.

[Continue](#)

Tela de Apresentação do Projeto
(<http://iltonlb.sites.uol.com.br/tatil/>)



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade de voz

Cadastrar Voluntário Gerenciar Voluntários Gerenciar Avaliadores Relatório de Avaliações Relatórios Ilton Desconectar

home admin :D

Made on a Mac

Tela do Gerenciador da Pesquisa



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade de voz

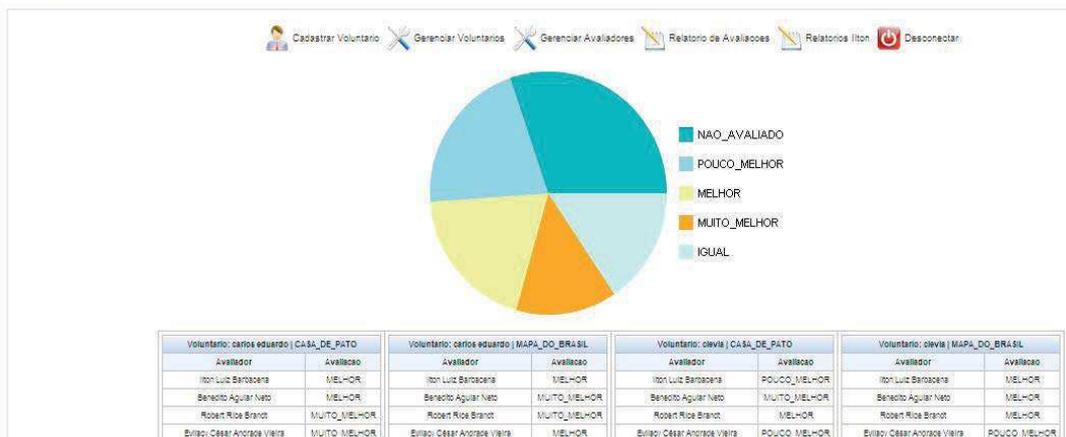
Cadastrar Voluntário Gerenciar Voluntários Gerenciar Avaliadores Relatório de Avaliações Relatórios Ilton Desconectar

ID	Nome	Idade	Sexo	Grau de Deficiência	Frase	Editar	Excluir
1	carlos eduardo	9	Masculino	Severa	Casa do Pato	Editar	Excluir
2	carlos eduardo	9	Masculino	Severa	Mapa do Brasil	Editar	Excluir
3	clevia	14	Feminino	Moderada	Casa do Pato	Editar	Excluir
4	clevia	14	Feminino	Moderada	Mapa do Brasil	Editar	Excluir
5	edson dantas	11	Masculino	Moderada	Casa do Pato	Editar	Excluir
6	edson dantas	11	Masculino	Moderada	Mapa do Brasil	Editar	Excluir
7	elayne	12	Feminino	Severa	Casa do Pato	Editar	Excluir

Tela de gerência de voluntários



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade de voz



Tela de relatório por voluntário (blocos com 4 voluntários até completar a quantidade de voluntários)



Sistema para avaliação subjetiva da qualidade de voz



Tela com as opções de relatório (na tela e em arquivo no formato excel)

SUMÁRIO PARA O ANEXO D

1. PERFIL DOS DEFICIENTES AUDITIVOS.....	157
2. ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA SOBRE A MELHORIA DA QUALIDADE DA VOZ.....	159
3. ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA SOBRE A INFLUÊNCIA DO PERFIL DOS VOLUNTÁRIOS NOS RESULTADOS	163
3.1 AVALIAÇÃO SE EXISTE DIFERENÇAS NAS MÉDIAS EM FUNÇÃO DO SEXO DOS DEFICIENTES.....	164
3.2 AVALIAÇÃO SE EXISTE DIFERENÇAS NAS MÉDIAS EM FUNÇÃO DO GRAU DE DEFICIÊNCIA	165
4: PERFIS DOS AVALIADORES	166
5. ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA SOBRE A INFLUÊNCIA DO PERFIL DOS AVALIADORES NOS RESULTADOS	167
CONCLUSÕES.....	171

LISTA DE FIGURAS PARA O ANEXO D

Figura A- 1 Distribuição de frequências pelo gênero do voluntário deficiente	157
Figura A- 2 Distribuição de frequências da variável idade do voluntário deficiente.....	158
Figura A- 3 Distribuição de frequências da variável grau de deficiência.....	158
Figura A- 4 Tela no SPSS para avaliação do comportamento da média das notas	159
Figura A- 5 Distribuição de frequência da media_notas para a frase 1	161
Figura A- 6 Distribuição de frequência da media_notas para a frase 2	161
Figura A- 7 Distribuição da média para a frase "casa do pato"	162
Figura A- 8 Distribuição da média para a frase "mapa do Brasil"	162
Figura A- 9 Distribuição de frequências dos avaliadores pelo gênero	166
Figura A- 10 Distribuição de frequências dos avaliadores pela idade (anos).....	166
Figura A- 11 Distribuição de frequências dos avaliadores pela profissão	167

LISTA DE TABELAS PARA O ANEXO D

Tabela A- 1 Valores de tendência central da variável média das notas.....	160
Tabela A- 2 Valores de tendência central da variável média das notas por frase	160
Tabela A- 3 Teste de normalidade para frase 1	163
Tabela A- 4 Teste de normalidade para a frase 2	163
Tabela A- 5 Resultados descritivos por gênero.....	164
Tabela A- 6 Resultados do teste T para o grupo sexo dos voluntários deficientes.....	164
Tabela A- 7 ANOVA descritiva – grau de deficiência.....	165
Tabela A- 8 ANOVA para o grupo grau por frase	165
Tabela A- 9 Teste de normalidade para avaliadores por frase.....	168
Tabela A- 10 Resultados descritivos por frase	168
Tabela A- 11 Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test: frase 1.....	169
Tabela A- 12 Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test: score / frase 1	169
Tabela A- 13 Independent Samples Test: frase 2.....	169
Tabela A- 14 Group Statistics: frase 2	170
Tabela A- 15 Kruskal-Wallis T: frase 1 / profissão	170
Tabela A- 16 Ranks do teste Kruskal-Wallis: frase 2 / profissão	170
Tabela A- 17 ANOVA descritiva: frase 2 / profissão	171
Tabela A- 18 ANOVA: frase 2 / profissão	171

APENDICE D - TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA VOZ

Apresentaremos aqui um relatório técnico do tratamento estatístico com objetivo de verificar se houve alguma melhoria na qualidade de voz de deficientes auditivos após serem submetidos a cinco (5) sessões de um experimento para correção da frequência fundamental da voz. O experimento envolveu 11 voluntários deficientes auditivos, e 57 pessoas denominadas avaliadores ou juízes, que também voluntariamente, atribuíram notas de classificação segundo a Tabela 5-1, relativo à melhoria da qualidade de voz após as cinco sessões. É interessante destacar que os avaliadores avaliaram inadvertidamente a 2 frases (1: Casa do pato e 2: Mapa do Brasil) ditas por cada um dos 11 deficientes auditivos utilizando a internet para acesso aos arquivos de som, gerando, portanto, respostas duas a duas dependentes por parte dos deficientes auditivos. Para detalhes adicionais sobre o experimento recomenda-se acessar a página da internet para acesso e avaliação:

<http://iltonlb.sites.uol.com.br/tatil/>.

1. Perfil dos Deficientes Auditivos

Na Tabela 5-2 pode ser visto o perfil dos deficientes auditivos que participaram do experimento, que em resumo estão ilustrados nas Figuras A-1, A-2 e A-3.

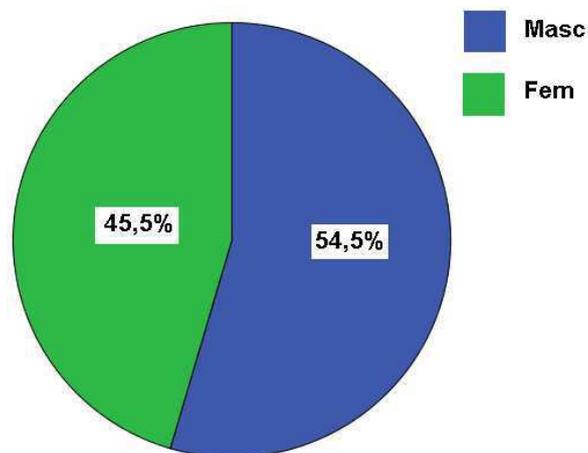


Figura A- 1 Distribuição de frequências pelo gênero do voluntário deficiente

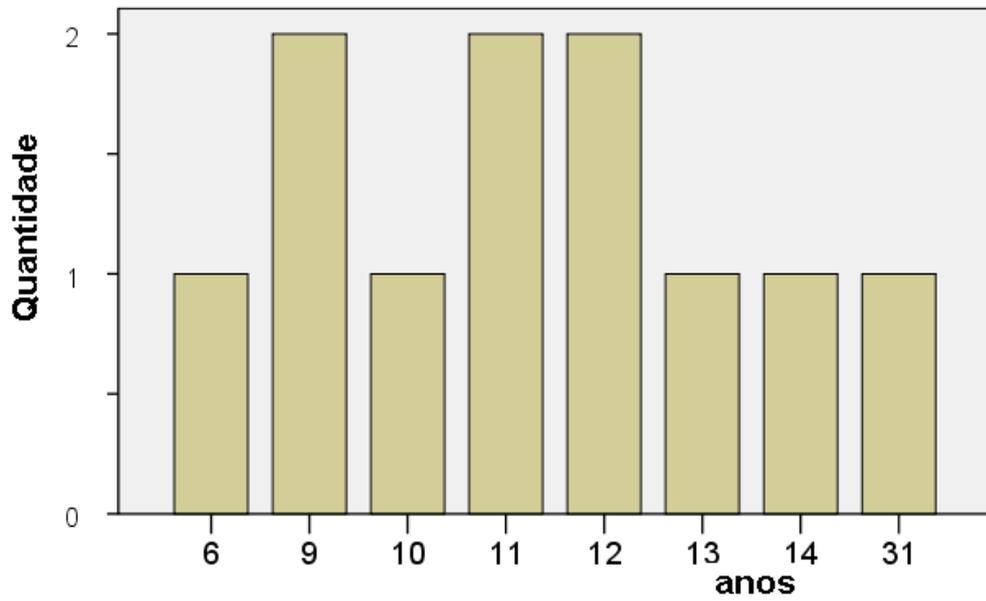


Figura A- 2 Distribuição de frequências da variável idade do voluntário deficiente

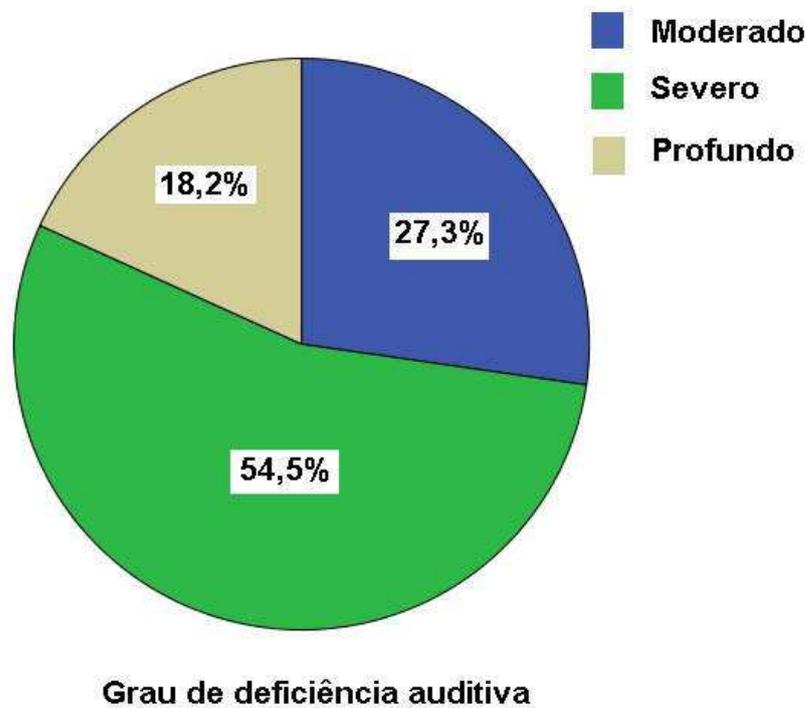


Figura A- 3 Distribuição de frequências da variável grau de deficiência

2. Estatística Exploratória sobre a melhoria da qualidade da voz

Obtendo-se a matriz transposta da Tabela 5-5 e adicionando-se colunas com os perfis dos voluntários deficientes, da Tabela 5-2, obtemos a planilha principal para análise descritiva do experimento. Em seguida é incluída a variável, *media_avaliaoões*, e atribuída o valor correspondente à soma das notas dos avaliadores dividida pelo total de avaliadores, para cada linha, conforme ilustrada na Figura A-4. Na Tabela A-1 está ilustrado as medidas de tendência central da variável média das avaliações.

Nesta análise, nós consideramos as categorias: 0: Igual, 1: Pouco melhor, 2: Melhor e 3: Muito melhor, como uma escala numérica ordinal 0, 1, 2 e 3 de modo que para cada avaliação pudéssemos calcular um escore médio que varia entre 0 (igual) e 3 (muito melhor).

The screenshot shows the SPSS Data Editor window for a dataset named 'medias_notas_voluntarios.sav'. The data is displayed in a grid format with 22 rows and 18 columns. The columns are: 'voluntario', 'frases', 'idade', 'sexo', 'grau', 'media_avaliaoões', and 18 individual evaluation variables labeled 'j1' through 'j18'. The 'media_avaliaoões' column contains the mean values for each row, ranging from 0.37 to 2.54. The evaluation variables 'j1' through 'j18' contain integer values from 0 to 3, representing the scores given by different evaluators.

voluntario	frases	idade	sexo	grau	media_avaliaoões	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7	j8	j9	j10	j11	j12	j13	j14	j15	j16	j17	j18
1	1	9	1	3	1,47	0	1	0	3	3	3	2	1	1	1	1	0	2	1	2	0	3	
2	2	14	2	2	1,00	0	3	2	0	2	0	3	0	1	2	0	0	1	0	0	1	1	
3	1	11	1	2	1,39	1	3	3	2	0	2	2	2	1	1	1	0	1	0	0	0	1	
4	1	12	2	3	1,35	2	3	2	1	1	0	0	1	0	2	1	3	0	2	1	0	1	2
5	1	11	1	2	1,12	1	1	1	2	0	1	2	1	0	1	0	2	1	1	2	1	0	1
6	1	31	1	4	1,93	1	3	3	3	0	3	0	3	2	3	2	1	3	1	1	1	2	2
7	1	10	1	4	0,65	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
8	1	6	2	3	2,54	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2
9	1	12	2	3	2,18	1	3	3	2	2	3	3	3	1	2	2	2	3	3	1	1	2	2
10	1	13	2	3	1,70	1	3	2	1	3	2	3	2	2	1	1	1	3	0	0	3	1	2
11	1	9	1	3	0,37	1	0	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	2	9	1	2,28	2	3	3	2	3	1	3	2	2	3	2	2	3	1	2	2	1	2
13	2	14	2	2	1,53	0	3	3	0	2	1	2	2	2	2	0	2	1	2	1	0	2	1
14	3	11	1	2	1,07	1	3	3	1	0	0	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
15	4	12	2	3	1,02	1	1	3	0	1	0	2	2	1	2	0	3	0	1	0	0	2	1
16	5	11	1	2	1,05	0	2	0	2	0	2	3	1	1	2	0	0	2	0	0	0	0	2
17	6	31	1	4	0,75	0	3	0	1	0	0	1	2	1	1	1	2	3	1	0	0	0	1
18	7	10	1	4	1,11	0	2	1	2	1	1	3	1	1	2	0	1	1	0	1	1	1	1
19	8	6	2	3	2,07	0	3	1	2	2	3	3	2	3	2	2	0	3	2	1	2	0	0
20	9	12	2	3	2,25	0	3	2	3	2	2	3	3	1	2	2	1	3	2	2	1	1	1
21	10	13	2	3	2,00	1	3	1	3	3	1	3	3	0	2	2	1	2	1	1	3	1	2
22	11	9	1	3	0,52	1	3	0	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1

Figura A- 4 Tela no SPSS para avaliação do comportamento da média das notas

Tabela A- 1 Valores de tendência central da variável média das notas

	N	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
						Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
media_avaliacoes	22	,37	2,54	1,4386	,60383	,197	,491	-,991	,953

Da Tabela A-1 verificamos que a média final é 1,44 com um desvio padrão de 0,61. Com isso já podemos verificar que houve uma melhoria considerável da qualidade da voz e com pouca variabilidade, ficando o resultado final entre Pouco Melhor e Melhor. Entretanto, a análise de scores médios deve ser feita para cada frase separadamente, uma vez que cada voluntário deficiente auditivo foi avaliado duas vezes, uma vez para cada frase, e os resultados da Tabela A-1 considera uma independência entre as avaliações.

Uma análise do escore médio foi feita para cada uma das frases separadamente, pois se fizéssemos a análise desconsiderando as frases 1 e 2, estaríamos analisando dados dois a dois dependentes porque cada voluntário deficiente auditivo foi avaliado com relação a leitura de duas frases. Vejamos abaixo algumas análises a seguir.

Na Tabela A-2 é apresentado às medidas de tendência central da variável média das notas por frase.

Tabela A- 2 Valores de tendência central da variável média das notas por frase

Frase		Casa do Pato	Mapa do Brasil
N		11	11
Min		0,37	0,75
Max		2,54	2,28
Mean		1,4273	1,4500
Std. Deviation		0,64343	0,59279
Skewness	Statistic	0,088	0,386
	Std. Error	0,661	0,661
Kurtosis	Statistic	-,337	-1,769
	Std. Error	1,279	1,279

A média para a frase 1 é 1,43 e para a frase 2 é 1,45, e ambas com pouca variabilidade (0,64 e 0,59), confirmando que houve uma melhoria da qualidade da voz, ficando o resultado final entre Pouco Melhor e Melhor.

O histograma das distribuições correspondentes a cada frase é apresentado nas Figuras A-5 e A-6, onde percebemos visualmente uma aproximação com a curva normal, com

``a frase 1 com uma distribuição de frequências simétrica (0,088) e a frase 2 com uma distribuição de frequências moderadamente assimétrica positiva (0,386).

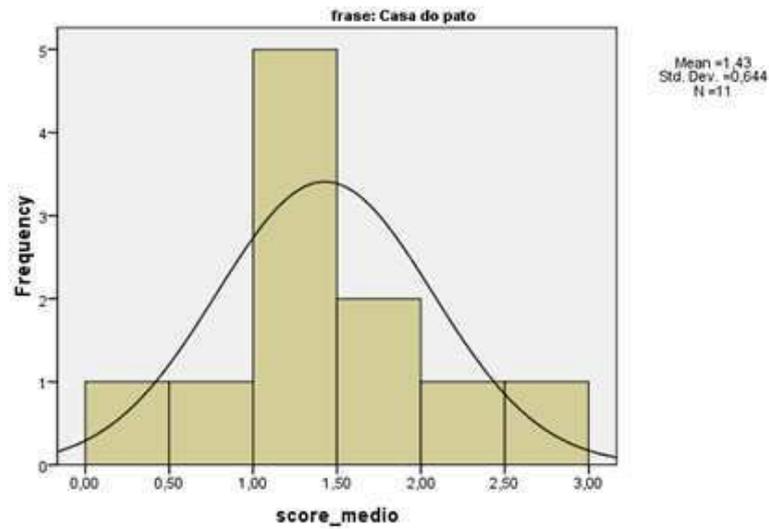


Figura A- 5 Distribuição de frequência da media_notas para a frase 1

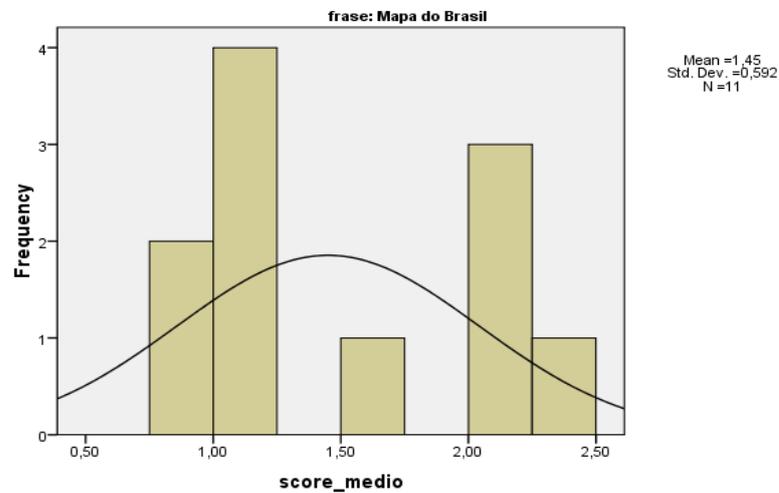


Figura A- 6 Distribuição de frequência da media_notas para a frase 2

Nas Figuras A-7 e A-8 estão ilustrados o comportamento estatístico das distribuições por fase.

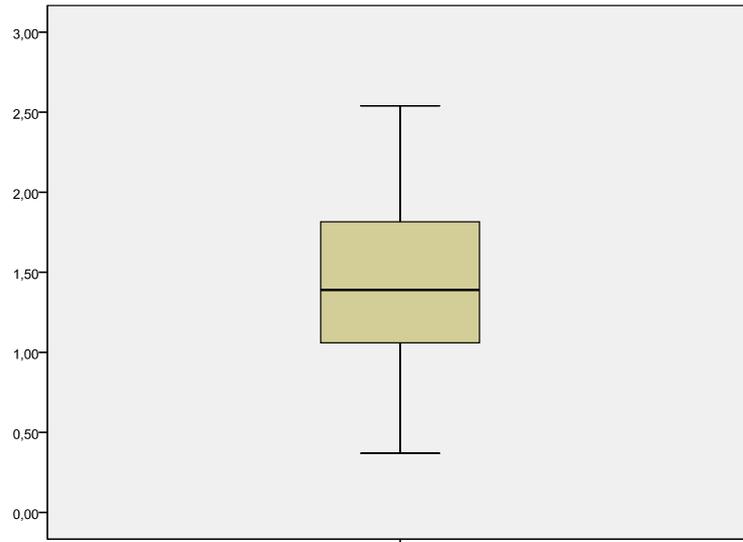


Figura A- 7 Distribuição da média para a frase "casa do pato"

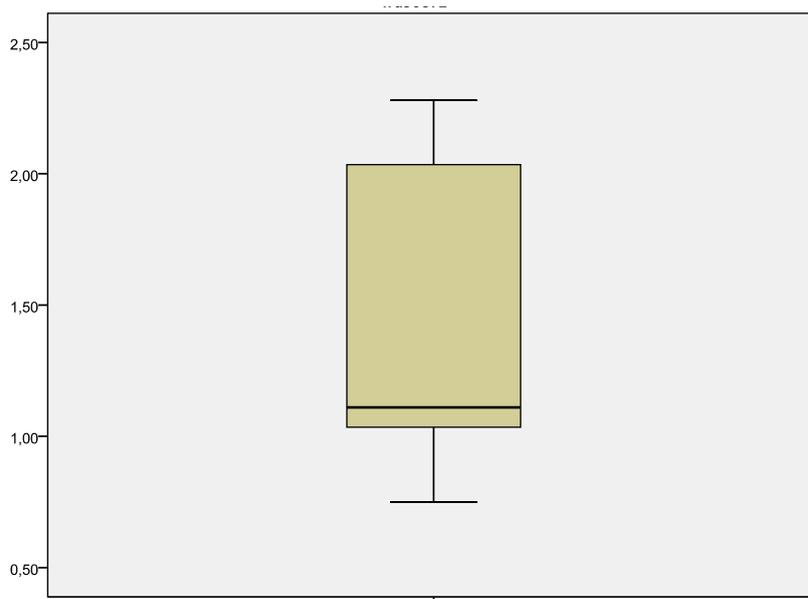


Figura A- 8 Distribuição da média para a frase "mapa do Brasil"

A Figura A-7 com a mediana no meio do bloco, confirma uma tendência para uma distribuição normal.

3. Estatística Exploratória sobre a influência do perfil dos voluntários nos resultados

Para verificar se o sexo e o grau de deficiência dos voluntários deficientes tem influência nos resultados das médias das notas por frase, faz-se necessário utilizar algum teste estatístico adequado. Para a escolha do teste é necessário verificar se a distribuição atende aos critérios de normalidade. Para isso, utilizamos os testes da normalidade conhecido por Shapiro-Wilk ($N < 50$), para a variável *media_avaliacoes*, por frase, cujos resultados são apresentados nas Tabelas A-3 e A-4.

Tabela A- 3 Teste de normalidade para frase 1

Tests of Normality ^b						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
<i>media_avaliacoes</i>	0,110	11	,200*	,990	11	,997
a. Lilliefors Significance Correction						
*. This is a lower bound of the true significance.						
b. frases = 1						

Tabela A- 4 Teste de normalidade para a fase 2

Tests of Normality ^b						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
<i>media_avaliacoes</i>	,262	11	0,033	,858	11	0,054
a. Lilliefors Significance Correction						
b. frases = 2						

Este teste compara valores de uma variável com a distribuição normal. A hipótese nula é que a mesma tem uma distribuição normal. O resultado do teste obteve 0,997 (Tabela A-3) e 0,054 (Tabela A-4), para p-valor. Portanto, ficando maior que 0,05, indicando que não houve fuga da normalidade para esta variável, em ambas as frases.

Neste contexto podemos utilizar testes paramétricos para avaliar relacionamentos com as variáveis independentes como sexo e grau de deficiência dos voluntários deficientes.

3.1 Avaliação se existe diferenças nas médias em função do sexo dos deficientes

Na Tabela A-5 estão os resultados descritivos das notas dos voluntários deficientes pelo gênero e por frase. A média das mulheres obtiveram maiores notas.

Tabela A- 5 Resultados descritivos por gênero

Group Statistics: sexo					
	sexo	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
frase 1	1	6	1,1550	,57053	,23292
	2	5	1,7540	,61926	,27694
frase 2	1	6	1,1800	,55828	,22792
	2	5	1,7740	,49833	,22286

Para verificar se as médias das notas dos voluntários sobre influência de gênero, para cada frase, será utilizando o teste estatístico *Test T*, e com a seguinte hipótese inicial:

H0: Médias iguais, independentemente do sexo dos voluntários

H1: Médias diferentes

Os resultados são apresentados nas Tabelas A-7.

Tabela A- 6 Resultados do test T para o grupo sexo dos voluntários deficientes

		Levene's Test		t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig						Lower	Upper
fase 1	Equal variances assumed	,056	,818	-1,669	9	,129	-,59900	,35889	-1,41086	,21286
	Equal variances not assumed			-1,655	8,327	,135	-,59900	,36187	-1,42780	,22980
fase 2	Equal variances assumed	,027	,872	-1,842	9	,099	-,59400	,32243	-1,32338	,13538
	Equal variances not assumed			-1,863	8,929	,096	-,59400	,31877	-1,31598	,12798

Na Tabela A-7 apresentam-se os testes de homogeneidade de variâncias (Levene) e o teste T-Student de comparação das médias das duas amostras, por frase.

Conclui-se que as variâncias são homogêneas, pois p-value deste teste foi 0,818 para a frase 1 e 0,872 para a frase 2. Portanto, superiores a 0,05. O resultado do teste T tem p-

value (sig. Assinótica) igual a 0,129 e 0,099 para as frases 1 e 2, portanto maior que 5%,. Isto indica que os grupos (homens e mulheres) não possuem diferenças estatísticas em suas médias.

3.2 Avaliação se existe diferenças nas médias em função do grau de deficiência

Os resultados apresentados na Tabela A-4 confirma a normalidade desta distribuição. Como o grau de deficiência possui mais de 2 grupos, vamos utilizar o teste ANOVA oneway para verificar se existe diferença significativa entre as médias dos grupos por frase.

Na Tabela A-7 são apresentados os resultados descritivos das médias por grau de deficiência, onde não se percebe vales extremos na média.

Tabela A- 7 ANOVA descritiva – grau de deficiência

	grau	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
						Lower Bound	Upper Bound		
frase 1	2	3	1,170	0,200	0,115	0,674	1,666	1,00	1,39
	3	6	1,602	0,751	0,307	0,813	2,390	,37	2,54
	4	2	1,290	0,905	0,640	-6,842	9,422	,65	1,93
	Total	11	1,427	0,643	0,194	0,995	1,860	,37	2,54
frase 2	2	3	1,217	0,272	0,157	0,542	1,891	1,05	1,53
	3	6	1,740	0,647	0,264	1,061	2,419	,82	2,28
	4	2	0,930	0,255	0,180	-1,357	3,217	,75	1,11
	Total	11	1,450	0,593	0,179	1,052	1,848	,75	2,28

Na tabela A-8 são apresentados os resultados da ANOVA por frase. Os valores de p=value são 0,653 e 0,185 para as frases 1 e 2, respectivamente.

Tabela A- 8 ANOVA para o grupo grau por frase

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
frase 1	Between Groups	,419	2	,209	,450	,653
	Within Groups	3,721	8	,465		
	Total	4,140	10			
frase 2	Between Groups	1,209	2	,604	2,097	,185
	Within Groups	2,305	8	,288		
	Total	3,514	10			

Como são valores superiores a 0,05 então podemos concluir que não existem diferenças significativas nas variações das médias para diferentes graus de deficiência auditiva.

4: Perfis dos avaliadores

Os 57 avaliadores voluntários estão distribuídos conforme Figuras A-9, A-10 e A-11.

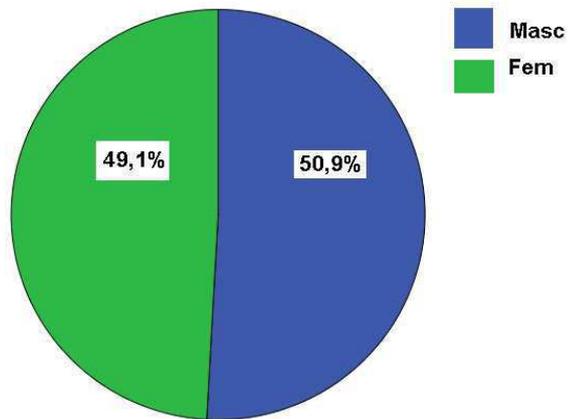


Figura A- 9 Distribuição de frequências dos avaliadores pelo gênero

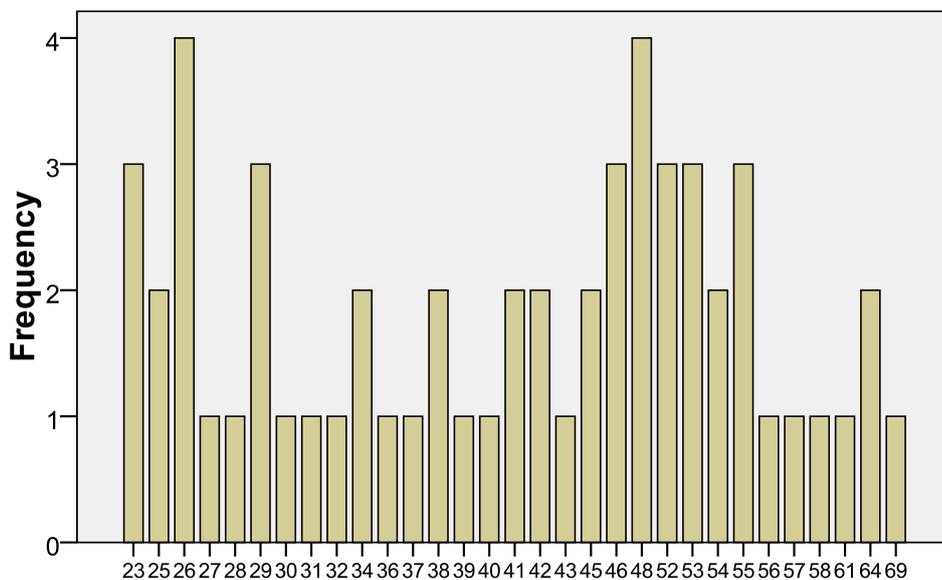


Figura A- 10 Distribuição de frequências dos avaliadores pela idade (anos)

O grupo de avaliadores é composto de 29 homens e 28 mulheres e distribuído em 3 grupos de profissões conforme especificado na Tabela 5-3, com 29 pessoas no grupo de engenheiros, 19 no grupo de fonoaudiólogos e 9 em outras profissões.

A faixa etária dos avaliadores varia de 23 a 69 anos com uma concentração maior na faixa de 50 anos.

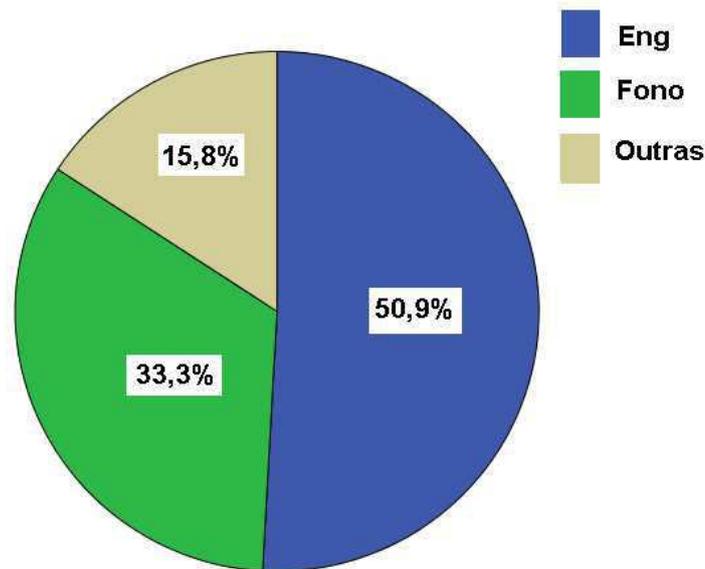


Figura A- 11 Distribuição de frequências dos avaliadores pela profissão

5. Estatística Exploratória sobre a influência do perfil dos avaliadores nos resultados

Para verificar se o sexo e a profissão dos voluntários avaliadores tem influência nos resultados das médias das notas por frase, faz-se necessário utilizar algum teste estatístico adequado. Para a escolha do teste é necessário verificar se a distribuição atende aos critérios de normalidade. Para isso, utilizamos os testes da normalidade conhecido por Shapiro-Wilk ($N < 50$), para a variável *media_avaliacoes*, por frase, cujos resultados são apresentados nas Tabelas A-9 e A-10.

Tabela A- 9 Teste de normalidade para avaliadores por frase

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
fase 1	,106	57	,167	,957	57	,040
fase 2	,096	57	,200*	,982	57	,566

Tabela A- 10 Resultados descritivos por frase

Frase		1	2
Mean		1,42719	1,44976
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	1,31909	1,32852
	Upper Bound	1,53530	1,57101
5% Trimmed Mean		1,42059	1,44090
Median		1,36000	1,45455
Variance		,166	,209
Std. Deviation		,407426	,456949
Minimum		,730	,545
Maximum		2,270	2,636
Range		1,540	2,091
Interquartile Range		,640	,545
Skewness		,306	,347
Kurtosis		-,939	-,030

Este teste compara valores de uma variável com a distribuição normal. A hipótese nula é que a mesma tem uma distribuição normal. O resultado do teste obteve 0,40 e 0,566 (Tabela A-4), para p-valor. Portanto, para a frase 1, ficando menor que 0,05, e para frase 2, ficando maior que 0,05. O resultado do teste indica que para a frase 2 não houve fuga da normalidade para esta variável, ao contrário da frase 1, onde fuga da normalidade.

Neste contexto teremos que utilizar testes paramétricos à frase 2 e não paramétricos para a frase 1(SIEGEL et al, 1988).

Para a frase 1, é adotado o teste de Kruskal-Wallis T para verificar a influência do sexo dos avaliadores nos resultados são apresentados nas Figuras A-11 e A-12.

O valor de p-value (Figura A-11) ficou 0,839, acima 0.05, portanto sugerindo que não existem diferenças significativas nas médias, em relação a variável sexo dos avaliadores. A Figura A-12, quando os ranks estão próximos.

Tabela A- 11 Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test: fase 1

Test Statistics ^a		
		media_f1
Most Extreme Differences	Absolute	,164
	Positive	,101
	Negative	-,164
Kolmogorov-Smirnov Z		,618
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,839
a. Grouping Variable: sexo		

Tabela A- 12 Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test: score / frase 1

Ranks				
	sexo	N	Mean Rank	Sum of Ranks
media_f1	1	29	29,34	851,00
	2	28	28,64	802,00
	Total	57		

Para a frase 2, é adotado o teste T para verificar a influência do sexo dos avaliadores nos resultados são apresentados nas Figuras A-13 e A-14.

Na Tabela A-13 apresentam-se os testes de homogeneidade de variâncias (Levene) e o teste T-Student de comparação das médias das duas amostras, para a frase 2.

Tabela A- 13 Independent Samples Test: frase 2

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	1,963	,167	-,286	55	,776	-,034931	,122072	-,279568	,209707
Equal variances not assumed			-,287	53,7	,775	-,034931	,121657	-,278870	,209009

Conclui-se que as variâncias são homogêneas, pois p-value deste teste foi 0,167 para a frase 2. Portanto, superiores a 0,05. O resultado do teste T tem p-value (sig. Assinótica) igual a 0,776, portanto maior que 5%. Isto indica que são existem diferenças estatísticas nas

médias. Isto pode ser confirmado na Tabela A-14 onde os Ranks possuem valores muito próximos.

Tabela A- 14 Group Statistics: frase 2

Group Statistics					
	sexo	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
media_f2	1	29	1,43260	,501859	,093193
	2	28	1,46753	,413807	,078202

Para verificar se a profissão dos voluntários avaliadores tem influência nos resultados das médias das notas por frase 1, vamos adotar novamente o teste Kruskal-Wallis Test cujos resultados são apresentados na Figura A-15.

Tabela A- 15 Kruskal-Wallis T: frase 1 / profissao

Test Statistics ^{a,b}	
	media_f1
Chi-Square	2,380
df	2
Asymp. Sig.	,304
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: profissao	

O resultado teste indica p-value = 0.304, portanto, portanto maior que 5%. Isto indica que são existem diferenças estatísticas nas médias. Isto pode ser confirmado na Tabela A-16 onde os Ranks possuem valores muito próximos.

Tabela A- 16 Ranks do teste Kruskal-Wallis: frase 2 / profissao

Ranks			
	profissao	N	Mean Rank
media_f1	1	29	29,26
	2	19	25,42
	3	9	35,72
	Total	57	

Para verificar se a profissão dos voluntários avaliadores tem influência nos resultados das médias das notas por frase 2, vamos adotar novamente uma ANOVA cujos resultados são apresentados na Figura A-17 e A-18.

Tabela A- 17 ANOVA descritiva: frase 2 / profissao

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
1	29	1,44828	,472334	,087710	1,26861	1,62794	,545	2,364
2	19	1,32536	,351196	,080570	1,15609	1,49463	,545	2,091
3	9	1,71717	,534829	,178276	1,30607	2,12828	1,000	2,636
Total	57	1,44976	,456949	,060524	1,32852	1,57101	,545	2,636

O resultado teste indica p-value = 0.105 (Tabela A-18), portanto, portanto maior que 5%. Isto indica que são existem diferenças estatísticas nas médias.

Tabela A- 18 ANOVA: frase 2 / profissao

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,938	2	,469	2,354	,105
Within Groups	10,755	54	,199		
Total	11,693	56			

6. Conclusões

Nesta análise exploratória e descritiva dos dados, observaram-se algumas evidências ou indicações de que as sessões com o sistema de correção da frequência fundamental da voz, tem um efeito positivo para a melhora da qualidade de voz, variando entre “pouco melhor” e “melhor”.

Também foram analisados se os perfis dos voluntários e dos avaliadores tiveram alguma influência no desempenho da melhoria da qualidade da voz. Os resultados indicaram que o gênero e o grau de deficiência dos deficientes auditivos, como também, a profissão e o gênero dos avaliadores, não influenciam nos resultados das avaliações.

A nexos

ANEXO A – ESTATÍSTICA BÁSICA

A origem da palavra estatística deriva da expressão status, em latim, e significa o "estudo do estado". Foi pensada pelos ingleses, no século XVI, como uma ciência política, destinada a descrever características de um estado ou país, tais como população, área, riqueza e recursos naturais (LAURENTI et al, 1985), envolvendo compilações de dados e gráficos.

A maior parte das decisões tomadas em quase todas as áreas de atividade humana moderna tem suas bases na estatística - definida, a grosso modo, como a coleta, análise e interpretação de dados, ou de forma mais ampla, como a "ciência da tomada de decisão perante incertezas".

O papel da Estatística na pesquisa científica está em contribuir junto ao investigador: na formulação das hipóteses científicas e fixação das regras de decisão; no fornecimento de técnicas para um eficiente delineamento de pesquisa; na coleta, tabulação e análise dos dados empíricos (estatística descritiva) e em prover testes de hipóteses a serem realizados de tal modo que a incerteza da inferência indutiva possa ser expressa em um nível probabilístico pré-fixado (estatística indutiva) (BERQUÓ et al, 1981).

Neste anexo pretendemos dar uma ideia geral sobre o assunto sem, contudo, aprofundar nos detalhes, mesmo porque, este tópico é assunto para muitos livros e amplamente divulgado.

Estatística Descritiva:

Por conta da quantidade de dados geralmente ser tão grande, é extremamente difícil captar intuitivamente as informações que os dados contêm. É necessário, portanto, que as informações sejam reduzidas até o ponto em que se possa interpretá-las mais claramente. A estatística descritiva vai resumi-las através do uso de certas medidas-síntese, que tornem possível a interpretação de resultados. No sentido mais amplo, suas funções são:

1. Coleta de dados;
2. Organização e classificação destes dados;
3. Apresentação através de gráficos e tabelas;
4. Cálculo de coeficientes (estatísticos), que permitem descrever resumidamente os fenômenos: médias, desvio padrão, etc;

Estatística Indutiva ou Inferência Estatística:

Consiste em obter e generalizar conclusões; ou seja, inferir propriedades para o todo com base na parte, no particular. É tratada através de técnicas e métodos que se fundamentam na Teoria das Probabilidades.

Em estatística utilizam-se extensivamente os termos população, amostra e censo. Assim, definiremos esses termos no contexto da estatística:

1. População: conjunto da totalidade dos elementos (valores, pessoas, medidas) a serem estudados. Congrega todas as observações que sejam relevantes para o estudo de uma ou mais características dos indivíduos. Podem ser tanto seres animados ou inanimados.
2. Amostra: um subconjunto de elementos extraídos de uma população.
3. Censo: é uma coleção de dados relativos a todos os elementos de uma população.

O esquema apresentado na Figura A 1 sintetiza com um exemplo, as etapas de uma pesquisa estatística.

Em todas as etapas de um projeto de pesquisa, a estatística está envolvida. As fases do trabalho estatístico são do âmbito da estatística descritiva, e suas principais fases, são as seguintes:

1. Definição do Problema;
2. Planejamento: determinação do procedimento necessário para resolver o problema;
3. Coleta de dados;
4. Crítica dos questionários: supressão de valores estranhos ao levantamento
5. Apuração dos dados: consiste em resumir os dados, através de sua contagem e agrupamento.
6. Apresentação dos dados de forma tabular e/ou gráfica;
7. Análise e Interpretação dos dados: conclusões que auxiliem o pesquisador a resolver seu problema.

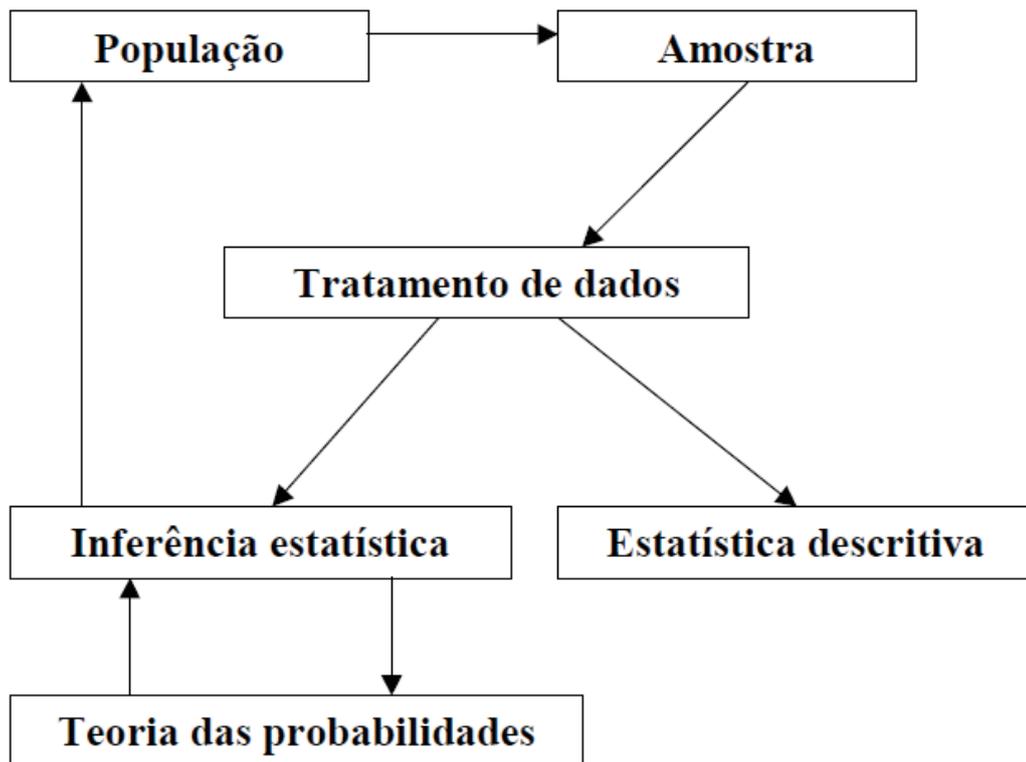


Figura A 1 - Etapas de uma pesquisa estatística

Durante as fases do trabalho estatístico, fazem-se necessários alguns procedimentos estatísticos, que passaremos a descrever:

1. Classificar as variáveis do projeto:
 - a. Quantitativas e qualitativas;
 - b. Nominais e ordinais;
 - c. Discretas e contínuas;
2. Verificar se o comportamento das amostras segue alguma das séries estatísticas, que medem a intensidade de um fenômeno, em função do tempo, local e o fato;
3. Apresentação dos dados:
 - a. Elaboração de tabelas
 - b. Distribuição de frequências: dados brutos, sequenciais, limites e repetições;
 - c. Dados tabulados agrupados em classe;
 - d. Gráficos em forma de cartogramas e diagramas;
 - e. Gráficos representativos: histogramas e polígonos de frequência
4. Medidas de tendência central: Médias, Mediana e Moda;
5. Medida das de separatrizes: Quartis, decis e centis;

6. Medidas de dispersão: Intervalo total, desvio padrão, variância e coeficiente de variação;
7. Medidas de assimetria: Média, mediana e moda, Coeficiente de Assimetria de Pearson e Coeficiente Quartil de Assimetria;
8. Fazer comparação entre proporção, razão e taxa;
9. Construção de um box-plot: exige que tenhamos o valor mínimo, o primeiro quartil, a mediana, o terceiro quartil e o valor máximo. O box-plot é um método alternativo ao histograma para representar os dados. O box-plot fornece informações sobre as características de posição, dispersão, assimetria, comprimento das caudas e outliers de um conjunto de dados;

Quando o conjunto de dados envolverem duas ou mais variáveis quantitativas, pode-se utilizar também o conceito de correlação.

A investigação da relação de duas variáveis, usualmente começa com uma tentativa para descobrir a forma aproximada dessa relação, representando-se graficamente os dados como pontos no plano xy . Tais gráficos denominaram gráfico de dispersão. Por meio dele pode-se prontamente verificar se existe alguma relação pronunciada e, em caso positivo, se a relação pode ser tratada como aproximadamente linear. Após esta verificação, pode-se medir o grau em que as variáveis estão relacionadas. A esta medida chamaremos de coeficiente de correlação, r , que é definido pela equação 7.1:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right]}} \quad (7.1)$$

Sua interpretação dependerá do valor numérico e do sinal, podendo ser classificada como:

1. Correlação linear positiva ($0 < r < 1$),
2. Correlação linear perfeita positiva ($r = 1$),
3. Correlação negativa ($-1 < r < 0$),
4. Correlação perfeita negativa ($r = -1$),
5. Correlação nula ($r = 0$). Quando duas variáveis forem independentes, o coeficiente de correlação será nulo.

Uso de Testes Estatísticos em Pesquisa

Quando um pesquisador tem em mãos dados obtidos de um experimento, precisa de um teste estatístico porque o teste associa à inferência determinado nível de significância ou um p-valor.

Se o pesquisador diz que o resultado de seu experimento é estatisticamente significativo, está dizendo que, se toda a população tivesse participado do experimento, seria muito provável obter resultado semelhante ao que foi obtido na amostrada estudada. Mas muito provavelmente não significaria 100% de certeza. Toda inferência é passível de erros: por amostras camufladas, erro por puro azar, amostras não representativas, etc.

Os testes estatísticos testam hipóteses a respeito de uma população, não se limitando somente a investigar o relacionamento entre duas variáveis, podendo ser utilizado para estudar diferenças entre grupos. Para chegar a uma decisão objetiva sobre se uma determinada hipótese deve ser confirmada deve ser utilizado um conjunto de dados, bem como, procedimentos objetivos para aceitar ou rejeitar a hipótese. A seguir são apresentadas as etapas, em ordem de execução, da formulação das hipóteses até a sua aceitação ou rejeição:

1. Estabelecimento da hipótese nula (H_0) e sua alternativa (H_1):
 - a. Decidir quais dados coletar e sob quais condições;
 - b. Escolha de um teste estatístico (com o seu modelo associado) para testar H_0 .
 - c. H_0 é usualmente formulada com o propósito de ser rejeitada, ou seja, H_1 é a afirmação operacional da hipótese de pesquisa do investigador.
2. Especificar o nível de significância (α), geralmente entre 0,01 a 0,05, e um tamanho para a amostra. Se a probabilidade associada à ocorrência sob H_0 de um valor particular fornecido por um teste estatístico é menor ou igual a α , rejeita-se H_0 . O nível de significância representa a probabilidade de cometer um erro do tipo I, ou seja, ocorrer à rejeição de H_0 , quando de fato, deveria ter sido aceito.
3. Escolha e aplicação do teste estatístico adequado, que se aproxima das condições da pesquisa em termos das suposições nas quais o teste está baseado. Inicialmente escolher se vai utilizar um teste paramétrico ou não paramétrico. Em seguida, o tipo de teste dentro desta categoria que se ajusta a sua amostra.
4. Encontre a distribuição amostral do teste estatístico sob a suposição de que H_0 é verdadeira;
5. Com base em (2), (3) e (4), defina a região de rejeição para o teste estatístico;

6. Usando os dados obtidos da(s) amostra(s), calcule o valor da estatística de teste. Se este valor estiver na região de rejeição, a decisão é rejeitar H_0 ; se estiver fora, a decisão é que H_0 não pode ser rejeitada no nível de significância escolhido.

Nível de Significância

A resposta num teste de hipóteses quando dada na forma de rejeitar H_0 , significa que os dados observados testemunham fortemente contra H_0 , neste caso será adotada a hipótese H_1 ou não rejeitar H_0 , que significa que não há evidência estatística suficiente para rejeitar H_0 .

Qualquer que seja a decisão a ser tomada está sujeitos a cometer erros. O primeiro erro ocorre quando rejeitamos H_0 (hipótese nula) quando esta é verdadeira. Chamamos de erro α (1ª espécie) a probabilidade de cometer este erro associada a um teste estatístico. O segundo ocorre quando aceitamos H_0 (hipótese nula) quando esta é falsa. A probabilidade de cometer este erro é indicada por β . (2ª espécie). A Tabela A 1 ilustra estes erros.

Tabela A 1 - Resumo com as situações em que cometemos erros

	Decisões	
	Rejeitar H_0	Não rejeitar H_0
H_0 verdadeira	ERRO (1ª espécie)	não há erro
H_0 falsa	não há erro	ERRO (2ª espécie)

O nível de significância adotado nas pesquisas ou erro α indica a probabilidade de cometer um erro tipo-I, ou seja, ocorrer à rejeição de H_0 , quando de fato, deveria ter sido aceito. Os níveis de significância mais utilizados são 5%, 0.1% e 1%.

O termo *p-value*, utilizado na maioria dos softwares estatísticos, corresponde ao menor nível de significância, que pode ser assumido para rejeitar a hipótese nula. Este valor refere-se a uma probabilidade condicionada da ocorrência de um evento caso a hipótese nula seja verdadeira. Dizemos que há significância estatística quando o *p-value* é menor que o nível de significância adotado. Por exemplo, quando $p=0.0001$ pode-se dizer que o resultado é bastante significativo, pois este valor é muito inferior aos níveis de significância usuais. Por outro lado, se $p=0.048$ pode haver dúvidas, pois, embora o valor seja inferior, ele está muito próximo ao nível usual de 5%. Em (DRACUP, 1995) é ressaltado o fato de que em muitos

textos sobre estatística é equiparado erroneamente o valor de α como a probabilidade de que a hipótese nula seja verdadeira, enquanto que α é a probabilidade de se obter um relacionamento de certa magnitude caso a hipótese nula seja verdadeira.

Os testes estatísticos são agrupados em paramétricos e não paramétricos. Os testes paramétricos são aplicados em populações que atendem algumas condições e, desta forma, precisa-se assegurar que os dados da amostra também satisfaçam certas hipóteses antes da utilização destas técnicas estatísticas. Os testes não paramétricos ou de distribuição livre não leva em consideração hipótese sobre o comportamento da população.

Testes paramétricos

Os testes paramétricos são aplicados a amostras com variáveis que cumprem certos requisitos conhecidos como supostos paramétricos, descritos como se segue:

1. A população a qual as amostras são retiradas deve ser normalmente distribuída.
(a) a média, mediana e moda coincidem; (b) ser mesocúrtica; (c) existir simetria em torno do eixo que passa pela média; (d) a área compreendida entre a curva e o eixo de abscissa ser igual a 1, etc.
2. Existir homoscedasticidade entre grupos, ou seja, as diferenças observadas entre suas variâncias das populações não devem ser estatisticamente significativas;
3. Não existir pontos extremos (outliers). Os pontos extremos distorcem a média, por conseqüência, qualquer teste paramétrico que utilize a média ficará também distorcido.
4. A amostra deve ser grande o suficiente ($N > 30$)

Quando os dados da pesquisa podem ser analisados apropriadamente por um teste paramétrico, este teste ficará mais poderoso ou consistente do que qualquer outro. Se existe uma diferença nas populações, ou um relacionamento entre duas variáveis, ou entre grupos, os testes paramétricos tem maior probabilidade de detectá-las, desde que as suposições para a sua utilização sejam satisfeitas. Os testes paramétricos são mais poderosos porque usam mais informações dos dados. Suas fórmulas envolvem o cálculo de médias, desvios padrões e

alguma medida de erro da variância. Os testes não paramétricos se baseiam em postos ou frequência de ocorrência dos dados em vez dos próprios dados. Em virtude disso, os testes paramétricos são os preferidos, contando que as restrições ao seu uso não sejam violados.

Para testar se todas as amostras possuem uma distribuição normal é comum a utilização do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Conforme Hair Jr. et al. (2005, p. 78) os testes estatísticos específicos de normalidade mais comuns são “o teste de Shapiro-Wilks e uma modificação do teste de Kolmogorov-Smirnov. Cada um deles calcula o nível de significância para as diferenças em relação a uma distribuição normal”.

Qualquer conjunto de valores numéricos pode-se calcular a média, porém, desvio-padrão, somente as curvas normais o possuem, uma vez que, por definição, "desvio-padrão é o ponto de inflexão da curva normal" e de mais nenhuma outra. São eles em número de dois e simétricos em relação à média da distribuição. Portanto, curvas assimétricas jamais podem ter desvio-padrão porque, mesmo que tenham pontos de inflexão, como os possuem muitas outras curvas matemáticas, eles dificilmente seriam simétricos em relação à média. Enfim, mesmo que distribuições experimentais possam apresentar alguma assimetria, esta deve manter-se dentro de certos limites, aceitáveis em termos estatísticos — e aceitáveis porque atribuídos à variação casual determinada pelos erros não-controlados de amostragem, ou seja, à variação do acaso, típica das variáveis e amostras chamadas aleatórias.

Para testar a homoscedasticidade de variâncias normalmente são utilizadas as seguintes provas: Prova de Fisher, prova de Fmax de Hartley, prova de Cochran, prova de Bartlett, prova de Levene e prova de Behrens-Fisher.

Quando um pesquisador utiliza testes não-paramétricos, supõe-se que a distribuição de seus dados experimentais não seja normal, ou que ele não tenha elementos suficientes para poder afirmar que seja. Na dúvida quanto a essa informação, nada impede que ele opte pelo uso da estatística não-paramétrica. O que ele não pode fazer, de modo algum, é argumentar em termos de desvios ou erros padrões, embora possa perfeitamente fazê-lo pura e simplesmente em termos de médias.

Enfim, qual teste usar em um experimento, seja paramétrico ou não-paramétrico?

Qualquer que seja a opção do pesquisador, a essa altura de sua investigação científica ele se acha diante de mais um dilema: qual, dentre os muitos testes estatísticos existentes em ambas as categorias acima citadas, seria o mais apropriado, no caso específico de seu

trabalho, ou do modelo matemático de seus ensaios? Que elementos desse modelo matemático condicionariam a opção por um ou outro desses testes? Em geral a resposta está contida no próprio modelo experimental de cada pesquisa. Os detalhes adicionais que devem orientar a escolha do teste são:

1. A existência ou não de vinculação entre dois ou mais fatores de variação;
2. O número de componentes da amostra, que serão comparados.

De fato, seja qual for o tipo de estatística escolhida, paramétrica ou não-paramétrica, há testes especificamente destinados a amostras em que há independência entre os fatores de variação, e outros para amostras em que existe vinculação ou dependência entre eles. Da mesma forma, o número de comparações a serem realizadas pelo teste é também importante, porque há testes elaborados para comparar apenas duas amostras, e há outros destinados a comparações múltiplas, entendendo-se como múltiplas um número de comparações superior a dois.

Num experimento fatorial, por exemplo, em que há fatores colocados nas colunas, nas linhas e nos blocos, o número de comparações é fornecido pela multiplicação do número de colunas, pelo número de linhas e pelo número de blocos. Enfim, o produto fatorial é semelhante ao usado para calcular o número total de dados da amostra, só não entrando no cálculo o número de repetições. Assim sendo, no caso do experimento fatorial que, a partir de alguns capítulos atrás, nos vem servindo de exemplo com 4 colunas, 3 linhas e 2 blocos, o número de comparações possíveis, incluindo-se nele não só os fatores de variação principais mas também todas as interações possíveis entre eles, seria: $4 \times 3 \times 2 = 24$ comparações.

Na A Estatística não-paramétrica representa um conjunto de ferramentas de uso mais apropriado em pesquisas onde não se conhece bem a distribuição da população e seus parâmetros. Esse eventual desconhecimento da população reforça o estudo e a importância da análise de pesquisas através dos testes não-paramétricos.

Os testes não-paramétricos são classificados de acordo com o nível de mensuração e o número de grupos que se pretende relacionar.

Tabela A 2 é apresentado uma classificação dos testes estatísticos segundo a ferramenta de software, GMC versão 7.5.

Testes não paramétricos

A Estatística não-paramétrica representa um conjunto de ferramentas de uso mais apropriado em pesquisas onde não se conhece bem a distribuição da população e seus parâmetros. Esse eventual desconhecimento da população reforça o estudo e a importância da análise de pesquisas através dos testes não-paramétricos.

Os testes não-paramétricos são classificados de acordo com o nível de mensuração e o número de grupos que se pretende relacionar.

Tabela A 2 - Classificação dos testes estatísticos segundo a ferramenta GMC versão 7.5

	Testes Paramétricos		Testes não Paramétricos	
	Independentes	Vinculados	Independentes	Vinculados
2 amostras	Teste t (Student)	Teste t (Student)	Mann-Whitney Teste da Mediana Qui-quadrado (2x2) Proporções Exato (Fisher)	Wilcoxon Teste dos sinais Mac Nemar Binominal
Mais de 2 amostras	Análise de Variância (ANOVA)	Análise de Variância	Kruskal-Wallis Mediana (mxn) Qui-quadrado (2x2) Nemenyi	Cochran Friedman

Na

Tabela A 3 são apresentados alguns dos testes não paramétricos muito utilizados em pesquisas tendo como objetivo as comparações entre grupos, segundo (SIEGEL et al, 1988).

A escolha do teste estatístico deve ser feita seguindo os critérios já descritos, mas o uso do teste pode ser feita diretamente no software estatístico que o usuário estiver trabalhando.

Tabela A 3 - Testes não paramétricos

Provas Estatísticas Não-Paramétricas					
Nível de Mensuração	<i>Uma amostra</i>	Duas amostras		K amostras	
		Amostras relacionadas	Amostras independentes	Amostras relacionadas	Amostras independentes
Nominal	Prova Binomial Prova Qui-quadrado de uma amostra	Prova de Mc Nemar	Prova de Fisher Prova Qui-quadrado para 2 amostras independentes	Prova Q de Cochran	Prova Qui-quadrado para k amostras independentes
Ordinal	Prova de Kolmogorov-Smirnov para uma amostra Prova de iterações para uma amostra	Prova dos sinais Prova de Wilcoxon	Prova da Mediana Prova U de Mann-Whitney Prova de Kolmogorov-Smirnov para 2 amostras Prova de iterações de Wald-Wolfowitz Prova de Moses para reações extremas	Prova de Friedman	Prova de extensão da mediana Prova de Kruskal-Wallis
Intervalar		Prova de Walsh Prova de aleatoriedade para pares	Prova de aleatoriedade de 2 amostras independentes		

A utilização de software estatístico deve ser sempre suportada por um adequado conhecimento das técnicas estatísticas envolvidas, ou orientada por quem detenha esses conhecimentos.

Nas ferramentas Excel e Matlab, de uso geral, já existem funções específicas para realizarem a maioria dos testes estatísticos já abordados.

Entretanto já existem ferramentas específicas para estatística que trazem facilidades no manuseio dos testes e, em geral, com mais facilidade para obtenção de tabelas e dos gráficos

de saídas: Boxplot, histogramas, diagramas de dispersão, tabelas de testes de normalidades, etc.

Entre os softwares mais conhecidos, de distribuição gratuita, estão o R e o SL. Entre os softwares comerciais mais conhecidos podemos destacar: SAS, SPSS, MINITAB, STATISTICA, etc.