

**ANÁLISE DA SENSIBILIDADE TÁTIL DE CEGOS, VIDENTES,  
SURDOS E OUVINTES**

ANA CAROLINA OLIVEIRA LIMA

Área de Concentração: Processamento da Informação

Raimundo C. S. Freire, Dr. – UFCG  
Orientador

Aléssio Trindade Barros, Dr. – CEFET-PB  
Orientador

CAMPINA GRANDE – PB  
Junho – 2005

UFCG

# ANÁLISE DA SENSIBILIDADE TÁTIL DE CEGOS, VIDENTES, SURDOS E OUVINTES

ANA CAROLINA OLIVEIRA LIMA

Dissertação apresentada à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Raimundo C. S. Freire, Dr. – UFCG  
Orientador

Aléssio Trindade Barros, Dr. – CEFET-PB  
Orientador

CAMPINA GRANDE – PB  
Junho – 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L732a Lima, Ana Carolina Oliveira  
Análise da sensibilidade tátil de cegos, videntes, surdos e ouvintes / Ana Carolina Oliveira Lima. — Campina Grande: UFCG, 2005.  
89f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Orientadores: Raimundo Carlos Silvério Freire e Aléssio Trindade Barros.

1— Engenharia de reabilitação 2— Estimulação tátil - vibrátil 3— Psicofísica relacionada ao tato 4— Matriz de estimulação tátil 5— Sensibilidade tátil de cegos, videntes, surdos e ouvintes I— Título

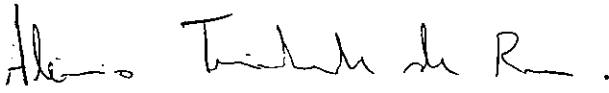
CDU 615.84:612.88

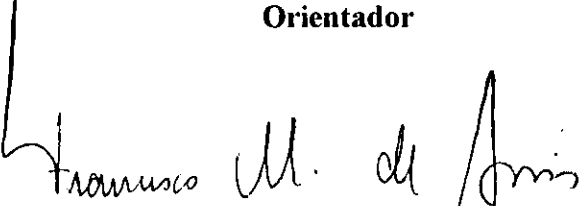
**SISTEMAS DE ESTIMULAÇÃO TÁTIL PARA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE  
SENSIBILIDADE TÁTIL DE CEGOS, SURDOS, OUVINTES E VIDENTES.**

**ANA CAROLINA OLIVEIRA LIMA**

Dissertação Aprovada em 02.06.2005

  
**RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFCG**  
**Orientador**

  
**ALÉSSIO TRINDADE BARROS, D. Sc., CEFET-PB**  
**Orientador**

  
**FRANCISCO MARCOS DE ASSIS, Dr., UFCG**  
**Componente da Banca**

  
**JOSÉ FELÍCIO DA SILVA, Dr., UFPB**  
**Componente da Banca**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**Junho - 2005**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha Família, em especial, aos meus pais Wilson Silva Leal e Emilia Oliveira Lima Leal, avós, Wilson Ribeiro Lima, Maria do Espírito Santo Oliveira Lima, Maria de Lourdes Leal e Maria Madalena Leal, irmão Alexandre Lima, meu primo Alex Roger Lima Cardoso e ao Movimento católico Comunhão e Libertação.

## AGRADECIMENTOS

---

Ao mestre dos mestres, pela presença constante em minha vida.

Aos Professores Raimundo Carlos Silvério Freire (UFCG), Aléssio Trindade Barros (CEFET-PB) pela orientação, contribuição, paciência e compreensão durante este trabalho de dissertação.

À amiga e professora do CEFET-MA, Lucilene Mouzinho pela sublime amizade, paciência, apoio, incentivo, correções sugestões.

Aos Professores Benedito Antonio Luciano (UFCG), João Viana da Fonseca Neto (UFMA), Francisco Marcos de Assis (UFCG), Hiran de Melo, José Felício da Silva (UFPB) e José Gutemberg de Assis Lira (UFCG), pelo apoio e sugestões.

Aos colegas do laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC) Guilherme, Brunelli, Lígia, Will, Negrão, Magdalena, Francisco e especialmente, ao Bruno pelo apoio.

Aos colegas de mestrado Angilberto, Walter, Valério, Marcelo, Ângela, Roberto Higino, Amarília, pelo incentivo.

Aos funcionários do Instituto de Tecnologia da Amazônia (UTAM), CEFET-AM e UFCG Prof. Anízio, Prof. Antenor, Prof. Ana Celi, Prof. Emerson, Prof. Ribamar, Maria, Graça, Simone, Eleonora, Ângela pelo apoio e incentivo.

Aos amigos de Manaus, Anderson, Gabriel, Fernando, Marcelo, Marília pela contribuição neste trabalho.

À UTAM pelo apoio técnico.

À COPELE, FAPEAM, PRONEX e ao PROCAD pelo apoio técnico e financeiro.

A todos que colaboraram de maneiras diversas para a realização deste trabalho.

Apresentam-se nessa dissertação metodologias para avaliação da sensibilidade tátil de cegos, videntes, surdos e ouvintes a partir de análises da reação a estímulos vibráteis. Foi utilizado um estimulador vibrátil nos testes, nos quais, inicialmente fazia-se um treinamento e em seguida era solicitado que a pessoa sob teste identificasse a frequência vibrátil treinada, de forma que ela poderia aumentar ou diminuir essa frequência até que ela informasse ter atingido a frequência alvo. Foram utilizadas 5 algoritmos de aproximação da frequência alvo, chamadas de transformações (linear, quadrática 1, quadrática 2, cúbica e logarítmica). Os parâmetros avaliados foram o erro percentual na identificação da frequência alvo e o número de iterações para atingi-la. Após uma análise comparativa observou-se que os deficientes (surdos e cegos) têm maior sensibilidade tátil que os não deficientes (ouvintes e videntes). Foi desenvolvido também um estimulador tátil, baseado em agulhas e solenóide, e o algoritmo para transmissão de caracteres Braille e realização de testes psicofísicos.

## ABSTRACT

---

This work presents methodologies to evaluate the tactile sensibility from reaction analysis to vibrotile stimuli. It was used a vibrotile stimulator to test deaf and listeners, blind and sighters. The first step on these tests was to train the subjects in order to identify the several stimuli and afterwards it was asked that the subject's identify the vibrotile frequency trained, so that they could increase or decrease this frequency up to the point that they achieved the target frequency and informed. Five target frequency proximity algorithm were used which are called transformations (linear, quadratic 1, quadratic 2, cubic and logarithmic). The parameters evaluated were the percentual error on the identification of the target frequency and the number of interactions to get it. After a comparative analysis it was observed that the handicapped (deaf and blind) have more tactile sensibility than the ones who are not handicapped (listeners and sighters). It was also developed a tactile stimulator, based on needles and solenoids, and the algorithm to transmit the Braille characters and to accomplish psychophysical tests.



## ÍNDICE

|         |                                                                                                               |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1       | INTRODUÇÃO.....                                                                                               | 11 |
| 2       | MODALIDADES SENSORIAIS.....                                                                                   | 16 |
| 2.1     | Considerações sobre a Fisiologia Sensorial.....                                                               | 17 |
| 2.1.1   | Modalidade Visual.....                                                                                        | 18 |
| 2.1.1.1 | Deficiência Visual.....                                                                                       | 19 |
| 2.1.2   | Modalidade Auditiva.....                                                                                      | 20 |
| 2.1.2.1 | Deficiência Auditiva.....                                                                                     | 22 |
| 2.1.3   | Modalidade Tátil.....                                                                                         | 23 |
| 2.1.3.1 | Sensibilidade Tátil.....                                                                                      | 24 |
| 2.1.3.2 | Discriminação Sensorial da Pele.....                                                                          | 26 |
| 2.1.3.3 | A Estimulação Tátil.....                                                                                      | 29 |
| 2.1.3.4 | Os sistemas táteis para substituição sensorial.....                                                           | 30 |
| 2.2     | Considerações sobre a Psicofísica.....                                                                        | 31 |
| 2.2.1   | Métodos Psicofísicos.....                                                                                     | 31 |
| 2.2.2   | A Psicofísica Relacionada ao Tato.....                                                                        | 32 |
| 3       | ESTIMULADOR VIBRÁTIL PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÁTIL DOS CEGOS, SURDOS, VIDENTES E OUVINTES.....           | 34 |
| 3.1     | Considerações Sobre Estimulação Vibrátil.....                                                                 | 35 |
| 3.1.1   | Estímulos Vibráteis.....                                                                                      | 35 |
| 3.1.2   | Parametrização e Codificação de um Sinal de Voz.....                                                          | 36 |
| 3.2     | Estimulador Vibrátil para Avaliação da Capacidade Tátil entre Surdos e Ouvintes e entre Cegos e Videntes..... | 37 |
| 3.2.1   | Modulação e parâmetro de voz.....                                                                             | 38 |
| 3.2.2   | Procedimentos Metodológicos.....                                                                              | 39 |
| 3.2.3   | Programa Computacional.....                                                                                   | 41 |
| 3.2.4   | Resultados Experimentais.....                                                                                 | 42 |
| 3.2.4.1 | Considerações para análise dos resultados dos testes.....                                                     | 42 |
| 3.2.4.2 | Resultados experimentais I: Avaliação comparativa da sensibilidade tátil entre Surdos e Ouvintes.....         | 43 |
| 3.2.4.3 | Resultados experimentais II: Avaliação comparativa da sensibilidade tátil entre Cegos e Videntes.....         | 48 |
| 3.2.5   | Análise das transformações.....                                                                               | 50 |

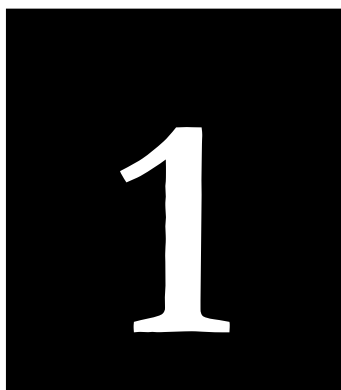
|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO TÁTIL PARA ESTIMAÇÃO DO TEMPO DE LEITURA DE IDENTIFICAÇÃO DOS CARACTERES BRAILLE..... | 51 |
| 4.1 A sensibilidade tátil e a mobilidade de leitura Braille.....                                               | 52 |
| 4.2 Instrumentos Utilizados para medir o Tempo de Leitura em Braille.....                                      | 53 |
| 4.3 Matriz de Estimulação Tátil.....                                                                           | 55 |
| 4.2.1 Sistema Mecânico.....                                                                                    | 56 |
| 4.2.2 Sistema Elétrico.....                                                                                    | 57 |
| 4.2.3 Análise da Sensibilidade Tátil.....                                                                      | 68 |
| CONCLUSÃO.....                                                                                                 | 61 |
| SUGESTÕES PARA TRABALHOS A SEREM DESENVOLVIDOS.....                                                            | 63 |
| APÊNDICE A: A comunicação e o sensorial visual e auditivo .....                                                | 64 |
| APÊNDICE B: Programa para estimação do tempo de identificação de caracteres Braille.....                       | 71 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                | 80 |

## LISTA DE FIGURAS

|                  |                                                                                            |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1.3.2.1 | Relação entre quantidade de descarga e intensidade do estímulo.....                        | 27 |
| Figura 2.1.3.2.1 | Relação exponencial entre quantidade de descarga e intensidade do estímulo.....            | 28 |
| Figura 2.1.3.2.2 | Relação entre o limiar médio e região corporal.....                                        | 29 |
| Figura 3.1.1     | Sinal típico de estimulação vibrátil.....                                                  | 35 |
| Figura 3.2.1     | Fotografia do transdutor vibrátil.....                                                     | 37 |
| Figura 3.2.3.1   | Fluxograma usado no procedimento experimental.....                                         | 42 |
| Figura 3.2.4.1   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em surdos no grau de dificuldade 1.....   | 44 |
| Figura 3.2.4.2   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em surdos no grau de dificuldade 2.....   | 45 |
| Figura 3.2.4.3   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em ouvintes no grau de dificuldade 1..... | 46 |
| Figura 3.2.4.4   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em ouvintes no grau de dificuldade 2..... | 47 |
| Figura 3.2.5.1   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em cegos.....                             | 49 |
| Figura 3.2.5.2   | Resultados obtidos com testes de percepção tátil em videntes.....                          | 49 |
| Figura 4.2.1     | Plataforma de exibição no nível baixo.....                                                 | 55 |
| Figura 4.2.2     | Plataforma de exibição em um nível alto.....                                               | 55 |
| Figura 4.2.3     | Estruturação dos pinos para criação de caracteres Braille.....                             | 55 |
| Figura 4.3.4     | Diagrama de blocos da matriz de estimulação tátil.....                                     | 56 |
| Figura 4.2.1.1   | Sistema mecânico para cada solenóide.....                                                  | 57 |
| Figura 4.2.2.1   | Circuito elétrico utilizado.....                                                           | 57 |
| Figura A.2.2.1.1 | Alfabeto Braille.....                                                                      | 68 |
| Figura A.2.2.2.1 | Modelo esquemático de uma Célula Braille.....                                              | 69 |

## LISTA DE TABELAS

|                  |                                                                             |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.2.4.1   | Média dos erros de sensibilidade dos surdos no grau de dificuldade 1.....   | 44 |
| Tabela 3.2.4.2   | Média dos erros de sensibilidade dos surdos no grau de dificuldade 2.....   | 45 |
| Tabela 3.2.4.3   | Média dos erros de sensibilidade dos ouvintes no grau de dificuldade 1..... | 46 |
| Tabela 3.2.4.4   | Média dos erros de sensibilidade dos ouvintes no grau de dificuldade 2..... | 47 |
| Tabela A.2.2.2.1 | Dimensões da célula Braille.....                                            | 69 |



## INTRODUÇÃO

O ser humano explora o ambiente por meio das modalidades sensoriais: visão, audição, tato, olfato, paladar (CALDWELL et al., 1996) e vestibular (ZHOU et al., 2004). Para que uma informação seja processada cada sistema sensorial possui receptores específicos para sua aquisição, em função da seletividade da natureza do estímulo recebido. Assim o reconhecimento de uma informação é limitado pela sua natureza e pela quantidade de dados que podem ser recebidos pelo canal sensorial (ZHOU et al., 2004), (FRITZ & BARNER, 1999).

A partir da visão, por exemplo, é possível reconhecer informações como tamanho, forma, cores, topografia e dimensões (HALE & STANNEY, 2004), (BRESCIANI et al., 2004), já pelo paladar e olfato são reconhecidos os odores e sabores (BORING, 1942), pelo sistema auditivo são identificadas as informações acústicas (BARROS, 2004) e variáveis físicas como frequência e intensidade de um som, enquanto pelo tato é possível reconhecer textura, formas, peso, maleabilidade, temperatura e vibrações (HALE & STANNEY, 2004).

A informação é enviada a mente para seu reconhecimento, se não houver nenhuma experiência ou contato com essa informação, ocorre, então, o processo de sensação, no qual essa nova informação é associada e armazenada. No entanto, se a sensação já tiver sido experimentada, então ocorre o processo de percepção, no qual a informação é comparada e memorizada, para ser compreendida (HALE & STANNEY, 2004), (STATT, 1997), (DEESE & HULSE, 1975).

Tanto a percepção quanto a sensação são fatores que propiciam a aprendizagem, que é em síntese a percepção dos estímulos sensoriais, que são memorizados e comparados ordenadamente, a fim de serem avaliados e projetados em comportamento, que é a resposta a um estímulo particular (TERWILLIGER, 1974), (ROBERTS, 1996).

A relação entre estímulos e comportamento não apresenta correspondência biunívoca, pois a reação a um estímulo pode ser causada por fatores internos (reação nervosa) ou a reação muscular visível (TERWILLIGER, 1974).

A linguagem pode ser entendida como uma resposta intermediária que facilita o desenvolvimento da cognição, cultura, comunicação e integração social (TERWILLIGER, 1974), (PETRI, 1987).

A comunicação lingüística entre as pessoas requer, além da emissão de estímulos codificados apropriadamente para percepção, um funcionamento correto das modalidades sensoriais e atividade mental normal. Se não houver o funcionamento correto dos fatores biológicos e psicológicos, a capacidade de comunicação sofre perdas e, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento cognitivo e intelectual da pessoa e da adaptação social (BARROS, 2004).

Nesta acepção, os distúrbios da sensopercepção dificultam o desenvolvimento cognitivo da pessoa, principalmente se as modalidades sensoriais prejudicadas forem a visão e audição, pois ambos sistemas absorvem grande parte das impressões sensoriais, em função da agilidade na aquisição e processamento dos dados, se comparado com as demais modalidades sensoriais (FRITZ & BARNER, 1999).

Entretanto, a deficiência sensorial ou agnosia<sup>1</sup>, não deve ser fator propedêutico nem principal no desenvolvimento do senso humano ou interação social, sendo apenas um fator que pode ser resolvido pela substituição sensorial (FRITZ & BARNER, 1999), (WAY & BARNER, 1997), que é o ato de transmitir para a mente características mimetizadas de informações por um sistema sensorial que não o mais adequado para processar uma informação específica.

Exemplificando, a informação visual ou acústica pode ser integrada e interpretada por uma outra área sensorial (MASSINO, 1992), (BARROS, 2004), (LIMA et al., 2004). Neste caso, o sentido mais utilizado para substituição sensorial da visão e da audição é o sistema tátil, no qual o tato pode ser muito eficiente no reconhecimento de informação visual e acústica se as suas funcionalidades táteis forem bem exploradas (FRITZ & BARNER, 1999), (HEALTH ORGANIZATION, 2004).

A deficiência auditiva influencia na habilidade de comunicação e nas funções cognitivas do organismo (ZWOLAN & KILENY, 1993), pois a pessoa surda não consegue por métodos convencionais aprender a falar, porém existem métodos alternativos de reabilitação auditiva que podem auxiliar no processo ensino/aprendizagem e a deficiência visual influencia na comunicação escrita (HERSH & JOHNS, 2003).

Exemplos de métodos eficientes para prover a substituição sensorial pelo tato e ajudar pessoas parcialmente ou totalmente deficientes são: a linguagem de sinais para os surdos e o sistema Braille para os cegos (WAINAPEL & BERNBAUM, 2002), (KILENY & ZWOLAN, 2002).

O número de pessoas cegas e surdas no mundo é significativo, segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), existem cerca de 38 milhões de pessoas cegas, 5% de crianças que nasceram com surdez ou que se tornaram surdas durante a infância e cerca de 3,39% de brasileiros que apresentam problemas auditivos nos mais variados níveis, desde a hipoacústica leve até a surdez profunda. Por isso existe uma necessidade de desenvolvimento de recursos

---

<sup>1</sup> Agnosia - é a falha no reconhecimento de informações em um canal sensorial particular (MOUNTCASTLE, 1978), .

eficientes que permita a interação dessas pessoas com a sociedade e todos os seus fatores envolvidos.

As pessoas cegas e surdas enfrentam dificuldades durante a educação formal, das quais se pode destacar: a falta de apoio tecnológico que propicie simplicidade e custo baixo e o preconceito quanto à qualificação e a inserção desses no mercado de trabalho, limitando suas perspectivas de trabalho (BRASIL, 1995).

A utilização de recursos e métodos tecnológicos que promovam a substituição sensorial adequada é fundamental para a integração do deficiente visual e auditivo na sociedade, principalmente na realidade contemporânea, na qual o ambiente informático é preponderante nas atividades corriqueiras, intelectuais, sociais, culturais e de comunicação.

A estimulação tátil é uma alternativa para substituição sensorial. (BARROS, 2004) Por essa razão, é necessário que a informação viabilizada por meio desse recurso seja transmitida de maneira concisa e bem representada. É preciso realizar uma avaliação da qualidade perceptual tátil na utilização desses recursos que utilizem estimuladores táteis para transmissão de informações processadas digitalmente.

Neste sentido, existe a necessidade de desenvolver recursos que auxiliem no processo ensino/aprendizagem da linguagem oral e escrita para os cegos, surdos e surdo-cegos, bem como possibilite o acesso à informação visual e auditiva. Por isso, realizou-se neste trabalho de dissertação uma avaliação comparativa entre a sensibilidade tátil de cegos, surdos, ouvintes e videntes, e desenvolveu-se um sistema de estimulação tátil com a finalidade de estimar a velocidade máxima de compreensão de uma informação visual.

O texto dessa dissertação está dividido em quatro capítulos, além da conclusão e dois anexos, descritos a seguir:

Esta introdução é o capítulo 1.

No capítulo 2, são avaliadas as características fisiológicas e psicológicas relacionadas às modalidades sensoriais, a fim de se avaliar as influências dessas no processo de estimação da



velocidade de compreensão de informações táteis. Em particular são analisadas as funcionalidades das modalidades visual, auditiva e tátil, para que se possa avaliar esses sistemas e as causas das deficiências visual e auditiva. São apresentados também os princípios e métodos fundamentais para medir uma sensação em um sistema sensorial a partir da psicologia experimental.

Nos capítulos 3 e 4 são apresentados os resultados dos experimentos relacionados a sensibilidade tátil. No capítulo 3 foi realizada uma análise comparativa do desempenho tátil entre deficientes sensoriais (visual e auditivo) e pessoas normais (videntes e ouvintes) e no capítulo 4 são avaliados os resultados de um estudo preliminar sobre a capacidade tátil no processo de leitura Braille.

Em seguida, são apresentadas a conclusão e as propostas de continuação de trabalhos e, por fim, um apêndice sobre a comunicação dos deficientes visuais e auditivos, incluindo o sistema Braille, o método Tadoma e linguagem dos sinais e outro apêndice sobre as especificidades referente ao algoritmo de estimação da velocidade máxima de identificação de um caractere Braille.



## MODALIDADES SENSORIAIS

São apresentados neste capítulo os princípios fundamentais da fisiologia sensorial humana (aquisição, resposta sensorial e processamento da informação) e as considerações sobre a reabilitação sensorial como os fatores psicológicos, deficiência sensorial, sensação, aprendizagem, métodos de medidas, percepção e dispositivos de ajuda a deficientes sensoriais (visual e auditiva).

Inicialmente é realizada uma investigação sobre os aspectos fisiológicos relacionados às modalidades sensoriais, especificamente a visão, audição e tato, a fim de se entender os aspectos funcionais dessas modalidades sensoriais para avaliação da resposta sensorial em sistemas de realimentação visual e auditiva.

Em seguida, são analisadas as metodologias utilizadas na psicologia experimental para mensurar a sensação em um sistema sensorial, a fim de avaliar qual procedimento metodológico é melhor aplicável no desenvolvimento deste trabalho de dissertação.

## 2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A FISIOLOGIA SENSORIAL

As modalidades sensoriais estão relacionadas com as informações sensitivas que são adquiridas e transmitidas às pessoas por meio dos órgãos sensoriais específicos (GARCIA, 2002). Neste sentido, a função básica do sistema sensorial é a extração de energia ou taxas de energias de um ambiente. Essa energia pode ser de procedência química (paladar e olfato), eletromagnética (visão), mecânica (audição, propriocepção e tato) e térmica (SOUZA, 2001), (COSTARZO, 2004), (JOHNSON, 2000), (BERNE & LEVY, 2000).

O ato perceptivo e a capacidade neuronal de processar a informação são distinguidos por meio da aquisição da informação a partir dos receptores sensoriais. Ambos os processos (aquisição e processamento), quando integrados, propiciam conhecimento consciente da informação e a aprendizagem (MARX & HILLIX, 1963), (STATT, 1997), (FALCÃO, 2002), (BEAR et al., 2002).

A aquisição sensorial é realizada pelos receptores presentes nos órgãos sensoriais, denominados de exteroceptores, (SOUZA, 2001), (DANGELO & FATTINI, 1997), (JOHNSON, 2000), (GANONG, 1989). A funcionalidade desses receptores varia de uma modalidade sensorial para outra, de forma que existem receptores adequados para estímulos específicos (COSTARZO, 2004).

Esses receptores convertem as mais variadas formas de estímulos (energia) em impulsos nervosos para serem integrados, processados e coordenados pelo sistema nervoso (GANONG, 1989), (DANGELO & FATTINI, 1997) (OLIVEIRA, 2001).

Esses estímulos ou energias (luz, calor, dor, frio) são captados pelos receptores sensoriais, dos quais se destacam: (GUYTON & HALL, 2002), (SOUZA, 2001), (SHERRICK & CRAIG, 1982):

- mecanorreceptores - detectam os estímulos mecânicos e respondem às ações mecânicas como pressão e vibração;
- termorreceptores - detectam os estímulos relacionados à temperatura;

- nociceptores - detectam estímulos que podem provocar algum tipo de dano aos órgãos sensoriais;
- eletromagnéticos - detectam os estímulos relacionados à luz e;
- quimiorreceptores - está relacionado às reações e substâncias químicas do organismo.

### 2.1.1 MODALIDADE VISUAL

O sistema visual é um sistema sensorial eficiente e de alta resolução para aquisição de informações do ambiente (HARRISON et al., 2002), (GARCIA, 2002).

A informação visual é adquirida pelo órgão sensorial da visão, olho<sup>2</sup>, por meio dos receptores eletromagnéticos. Esses receptores convertem os raios luminosos em sinais nervosos e em seguida os envia para a área de associação visual no córtex, ocorrendo a percepção visual (CROSSMAN & NEARY, 2000), (DANGELO & FATTINI, 1997), (SOUZA, 2001). Por meio da visão é possível perceber os seguintes sentidos (WAINAPEL & BERNBAUM, 2002), (CALDWELL, 1996):

- o sentido de estereopsia<sup>3</sup>, no qual os olhos processam informações em paralelo;
- o sentido de equilíbrio vertical, juntamente com o sistema vestibular e a propriocepção, motivo pelo qual a ausência da visão pode provocar o desequilíbrio corpóreo e;
- o sentido de proximidade ou de afastamento de um objeto que é possível em função do foco visual ser controlado automaticamente pelo olho.

O olho é responsável pela condução da luz até os fotossensores, focalização da imagem dos objetos sobre os fotossensores, redução do ofuscamento e adaptação do olho a diferentes

---

<sup>2</sup> Olho – é um sensor que detecta padrões de luminosidade, propiciando a identificação de dimensões, formas, movimentos (BERNE & LEVY, 2000), brilhos, cores (GARCIA, 2002).

<sup>3</sup>Estereopsia – é a sensação de profundidade de objetos e pessoas.

condições de luminosidade (GARCIA, 2002). As estruturas funcionais principais são (GAYTON & HALL, 2002):

- córnea que atua no processo de refrativo ocular;
- íris que determina a quantidade de luz que penetra no olho, de acordo com a iluminação do ambiente;
- o cristalino onde ocorre a acomodação, no qual um objeto é focado, permitindo a visualização de imagens próximas ou distantes do campo visual.
- a retina que é a camada sensorial ocular, constituindo-se num prolongamento do Sistema Nervoso Central. Ela está disposta na face interna posterior do olho, sendo composta de células receptoras e fibras nervosas, tendo como função transformar a imagem em sinais elétricos e transmitir ao cérebro.

#### **2.1.1.1 A DEFICIÊNCIA VISUAL**

As funcionalidades do sistema visual podem ser prejudicadas devido a traumatismos ou infecção. A deficiência visual pode ser causada por doenças infecciosas, como sífilis e tracoma; doenças sistêmicas, como diabetes e nefrite; acidentes que provoquem tramas oculares e outras congênitas, como catarata (PARKER, 1994). Esses fatores prejudicam a visão em graus variados com privação congênita ou perda, parcial ou total, transitória ou permanente. (ENCICLOPÉDIA BARSA, 2003).

Muitas doenças neurológicas geram sintomas oculares por extensas áreas estarem envolvidas na percepção visual ou na execução dos movimentos dos olhos. Distúrbios oculares genéticos são comuns e podem indicar quadro sindrômico raro.

A perda súbita e transitória da visão pode ser provocada por isquemia (ausência de oxigênio e suprimento sanguíneo). A perda crônica pode ser causada por catarata, glaucoma, degeneração da mácula, retinopatia diabética e tumores e pode levar a lesão irreversível (GUYTON, 2002), (HARRISON et al., 2002).

As doenças sistêmicas adquiridas como a sífilis, diabetes, nefrite e hipertensão arterial maligna podem causar, isolada ou conjuntamente, graus variados de privação congênita ou perda, parcial ou total, transitória ou permanente da visão (HARRISON et al, 2002), (ENCICLOPEDIA BARSÁ, 2003).

Os defeitos adquiridos na visão por neurites, ou acidente vascular cerebral podem levar à dessaturação das cores após normalização da acuidade visual (acromatopsia) ou dificuldade em reconhecer faces (prosopagnosia).

A deficiência do campo visual ocorre tipicamente quando o nervo óptico é afetado pelas doenças: glaucoma, esclerose múltipla, tumores de hipófise, meninges ou aneurismas. A doença do nervo óptico pode ser nutricional, tóxica, hereditária, compressiva causando perdas parciais ou totais, homo ou bilaterais do campo visual, podendo ser irreversível.

### **2.1.2 MODALIDADE AUDITIVA**

Tal como o sistema visual, o sistema auditivo permite a análise da energia (neste caso a energia sonora) emitida ou refletida pelos objetos, inclusive permitindo o reconhecimento desses e estimando sua distância (JOHNSON, 2000).

O som é a sensação percebida pelo cérebro, relacionada com a chegada ao aparelho auditivo de ondas de vibração mecânica (ondas sonoras), na faixa de 16 Hz a 20 kHz para o ser humano (KACZMAREK, 1995).

O ouvido humano é utilizado para a audição e o equilíbrio do corpo. Ele é composto por partes distinguíveis anatomicamente como: ouvido externo, ouvido médio, ouvido interno, nervo acústico e centros auditivos cerebrais.

O ouvido externo é formado pela orelha e pelo conduto auditivo externo. O conduto auditivo externo liga a orelha ao ouvido médio por meio da membrana timpânica. O conduto auditivo externo funciona como um ressonador acústico. Nos humanos, suas características

ressonantes estão em torno de 10 dB na faixa de frequência de 2,5 kHz a 5 kHz, com o valor de pico usualmente em torno de 3 kHz (HERSH & JOHNS, 2003).

O lado interno da membrana timpânica está ligado ao martelo, ossículo do ouvido médio. Este ossículo se liga à bigorna, a qual se liga ao estribo, outros ossículos do ouvido médio. O estribo se comunica com o ouvido interno por meio da janela oval<sup>4</sup>.

O ouvido médio se comunica com o ouvido interno também pela janela redonda. As janelas oval e redonda são fechadas por membranas. A geometria do ouvido interno assemelha-se a um caracol (sendo por isso chamado de cóclea), ao qual estão ligados os canais semicirculares, cuja função está envolvida com o equilíbrio do corpo. Enquanto os ouvidos externo e médio estão preenchidos por ar atmosférico, o ouvido interno está cheio de líquido (língua). Dentro do ouvido interno há o órgão de Corti, cujas células ciliadas se comunicam com o nervo auditivo mediante filetes nervosos.

A onda sonora que penetra no conduto auditivo externo perde parte da sua energia em virtude do atrito com as paredes. Outra parte de sua energia é transferida para a membrana timpânica. Um dos problemas fundamentais do ouvido é transmitir as ondas sonoras do ar para o líquido do ouvido interno, permitindo assim que se processe a transdução de energia mecânica em elétrica. A grande diferença de densidade entre os dois meios (ar e água) representa uma grande barreira à propagação do som. Apenas 0,1% da energia incidente do som penetra na água, sendo 99,9% refletido pela interface ar-água, de modo que a primeira função do ouvido é permitir que a energia da onda sonora chegue até a cóclea com um mínimo de perda (GARCIA, 2002).

Neste sentido, o ouvido médio promove um ganho mecânico a fim de que a energia da onda sonora seja suficiente para promover a vibração das línguas e membranas do ouvido interno. A cadeia de ossículos do ouvido médio forma um conjunto de alavancas com ganho mecânico igual a 1,3. Além disso, a área vibrátil do tímpano é 13 a 16 vezes maior que a área da janela oval. Assim, o ganho total de pressão sobre a janela oval é de 17 a 21 vezes (GARCIA, 2002).

---

<sup>4</sup> Estribo, o ouvido e janela oval são partes do ouvido humano.

As ondas sonoras provenientes do ouvido externo e médio chegam à cóclea, onde, movimentando a membrana tectorial do órgão de Corti, estiram e comprimem os cílios das células ciliadas, provocando sua excitação e o aparecimento de impulsos elétricos que se propagam pelos filetes nervosos chegando ao nervo auditivo e depois ao córtex cerebral auditivo, onde o som é analisado, decodificado e armazenado.

Uma fonte sonora muito importante para o ser humano é o aparelho fonador, utilizado para a geração do sinal de voz, variando a pressão de ar na saída do trato vocal. A taxa de repetição dos pulsos glotais associados à configuração articulatória realizada pelo falante é a frequência fundamental do sinal de voz, que corresponde ao menor componente periódico resultante da vibração das cordas vocais. Os falantes masculinos normais adultos têm frequência fundamental média de 120 Hz, os femininos, 220 Hz, e as crianças, cerca de 300 Hz (BRAID, 1999).

#### **2.1.2.1 A DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

A deficiência auditiva é a perda parcial ou total da capacidade de detecção de ondas sonoras audíveis. Esta deficiência ocorre em função de disfunções dos mecanismos da audição (HERSH & JOHNS, 2003), (KILENY & ZWOLAN, 2002), (TORTORA, 2000).

Essas disfunções podem estar relacionadas com a capacidade discriminativa do sistema auditivo. Por exemplo, quando a voz humana não consegue ser reconhecida, testes como a logaudiometria podem ser feitos para determinar os limiares da percepção da voz, a inteligibilidade e discriminação dos sons, na qual a voz é usada como um estímulo.

As disfunções auditivas podem ocorrer tanto em nível neural em que há uma lesão na cóclea ou nervo auditivo, quanto na transmissão do som para a cóclea, dita como surdez de condução (GUYTON & HALL, 2002), (STETTEN, 1995).

Se a disfunção é do tipo neural, o grau de surdez é irreversível. Porém, se essa disfunção ocorre em função dos mecanismos de transmissão, a reabilitação auditiva pode ser realizada por meio da condução sonora aplicada ao osso craniano (GUYTON & HALL, 2002).



A deficiência auditiva em nível neural, sensorio-neural, em que ocorre quando há uma impossibilidade de recepção do som por lesão das células ciliadas da cóclea ou do nervo auditivo pode ocorrer em função das seguintes doenças: infecções virais, meningites, otosclerose coclear, doença de Ménière ou pelas alterações como ruído intenso, envelhecimento, medicamentos ototóxicos (salicilatos, quinina, antibióticos) (TORTORA, 2000) (HARRISON et al., 2002).

A deficiência auditiva condutiva, que ocorre quando existe alguma interferência na transmissão do som desde o conduto auditivo externo até a ouvido interna (cóclea) pode ser provocada por obstrução do canal auditivo externo, cerume impactado, resíduos ou corpos estranhos, edema do revestimento do canal, atresia do canal, neoplasias do canal, perfurações da membrana timpânica, ruptura dos ossículos, cicatrizes, infecções ou traumas do ouvido médio.

A deficiência auditiva também pode ser mista, que ocorre quando há uma alteração na condução do som até o órgão terminal sensorial associada à lesão do órgão sensorial ou do nervo auditivo.

### **2.1.3 MODALIDADE TÁTIL**

A visão e a audição são os sentidos mais utilizados pelo organismo (BLISS, 1962), (STATT, 1997), logo, a ausência da sensibilidade visual e auditiva interferem diretamente no relacionamento do deficiente visual e auditivo com o ambiente, forçando-o a utilizar os demais sentidos para superar as problemáticas conseqüentes. (FRITZ & BARNER, 1999), (WAINAPEL & BERNABAUM, 2002).

O sentido mais usado como substituto sensorial para propiciar a realimentação visual e auditiva é o tato, mesmo que este apresente limites perceptuais se comparado com as modalidades visual e auditiva, pois a resolução tátil é três vezes menor que a visual e duas vezes menor que a auditiva (WAY & BARNER, 1997).

No entanto, mesmo que a quantidade máxima de informações adquiridas pelo tato seja menor, quando comparado aos sentidos auditivo e visual, é possível por meio do tato suprir as

necessidades de propriocepção, identificação de objetos e comunicação (SCHIEDER et al., 2002), (TADDEUCCI et al., 1997), com uma vantagem em relação às outras modalidades sensoriais, que é o contato direto com a informação, objeto tocado, fator este que favorece a definição de suas características (TADDEUCCI et al., 1997).

### **2.1.3.1 A SENSIBILIDADE TÁTIL**

A percepção tátil, que é a capacidade do ser humano de detectar estímulos aplicados sobre a pele<sup>5</sup>, depende da sensibilidade cutânea, incluindo sensibilidade a estímulos mecânicos, térmicos, químicos e elétricos (CHOLEWIAK & WOLLOWITZ, 1992).

Esses estímulos provocam sensações específicas, sensações de tato (estimulação dos receptores na pele), pressão (geralmente, deformam os tecidos profundos) vibração (sinais sensoriais, repetitivamente rápidos) cócegas, térmicas (frio e calor) e dor (DANGELO & FATTINI, 1997), (JACOB et al., 1990), (TADDEUCCI et al., 1997), (TORTORA, 2000), (GAYTON & HALL, 2002), (STATI, 1997), (BROWN & STEVENS, 1992).

A sensação tátil é o resultado de uma série de eventos que se inicia com um estímulo aplicado sobre a pele. A partir do estímulo, os receptores existentes na pele produzem descargas elétricas (denominadas de ação potencial) que são injetadas em um nervo denominado de nervo aferente. A partir disto, um grupo de neurônios ditos de segunda-ordem conduzem o sinal à medula espinhal e esta ao tálamo, no cérebro. No cérebro, esses estímulos são enviados às áreas específicas de associação tátil pelos neurônios de terceira-ordem, onde ocorre o processamento adequado do estímulo, expressando em conhecimento e em significados (GAYTON & HALL, 2002), (JOHNSON, 2000), (BERNE & LEVY, 2000), (COSTARZO, 2004), (TORTORA, 2000).

Essa sensação tátil é conduzida por duas vias ascendentes, das quais uma delas determina o

---

<sup>5</sup> Pele é o órgão sensorial do sistema tátil, que é composto por várias camadas de diferentes elementos sensoriais, denominadas de receptores (TADDEUCCI et al., 1997), (SOUZA, 2001), (CHOLEWIAK & WOLLOWITZ, 1992).

tato discriminativo ou epicrítico, que é identificado pela diferença entre dois pontos. Na bibliografia pesquisada foi encontrado que a distância mínima entre dois pontos que pode ser perceptível pelo tato é de 1 mm.

A funcionalidade desta via se divide em: impulsos nervosos, propriocepção consciente, tato discriminativo, sensibilidade vibratória e estereognosia, que é a capacidade de percepção do tamanho e forma dos objetos. A outra via é caracterizada pelo tato protopático ou grosseiro, que identifica a pressão (MACHADO, 2000), (GOSS, 1988), (TORTORA, 2000). Essas vias recebem informações de receptores específicos presentes na pele, dentre os quais se destacam:

- as terminações nervosas livres, localizadas próximas à superfície da pele, que detectam estímulos relacionados ao toque, a pressão e a dor (JOHNSON, 2000).
- Os Corpúsculos de Meissner, localizadas em áreas do corpo, onde se necessita de uma discriminação tátil mais apurada, como a ponta dos dedos, lábios, (COSTARZO, 2004) palma dos pés, ápice da língua, papilas mamarias, clitóris e glândula do pênis (TORTORA, 2000). Eles são capazes de detectar a discriminação pontual, usados para determinar o limiar entre dois pontos, a localização exata do estímulo (COSTARZO, 2004), (SOUZA, 2001), batidas e vibrações, no qual esses receptores respondem melhor a estímulos repetitivos com frequências de 30 Hz a 40 Hz (JOHNSON, 2000).
- Os Discos de Merkel detectam ondulações verticais na pele (JOHNSON, 2000) e respondem principalmente à pressão, mas podem responder à vibração (COSTARZO, 2004).
- Os corpúsculos de Vater-Pacini são capazes de detectar estímulos relacionados à pressão (toque) e vibração (CHOLEWIAK & WOLLOWITZ, 1992). Estes receptores são os principais responsáveis pela detecção da velocidade e do movimento sobre a superfície da pele, propiciando assim a identificação de textura de uma superfície (COSTARZO, 2004). Eles são capazes de detectar estímulos repetitivos em frequência altas, de 60 Hz a 1 kHz (STUART et al., 2002),

- Os corpúsculos de Ruffini detectam o toque intenso e contínuo e também podem detectar estímulos que provocam algum tipo de estiramento da pele (JOHNSON, 2000), (TORTORA, 2000), (SOUZA, 2001).

Portanto, a sensação tátil ocorre pela combinação das funcionalidades fisiológicas, funcionais e perceptuais com as características de cada estímulo como modalidade, natureza, intensidade e localização, variação temporal e espacial. A percepção e distinção dessas características pelo sistema tátil são possíveis em função do alto grau de seletividade ou resposta diferencial do sistema tátil a estímulos variantes.

### **2.1.3.2 A DISCRIMINAÇÃO SENSORIAL DA PELE**

A discriminação sensorial tátil pode ser comparada à acuidade visual mínima separável, ou a taxa de vibração na identificação de estímulos diferentes na audição (SHERRINCK & CRAIG, 1982). Em particular, a capacidade discriminativa da pele é uma funcionalidade importante do sistema tátil, na qual um estímulo pode ser distinguido de outros, em função de suas características.

No estudo da sensibilidade tátil, a partir dessa capacidade discriminativa, é possível identificar os limiares sensoriais do tato (EZAWA, 1988):

- o limiar tátil entre dois estímulos (distinção espacial).
- o limiar de tempo (distinção temporal);
- o limiar de intensidade;

A distinção espacial entre dois estímulos pontuais sobre a pele, é determinada quando há percepção de dois estímulos distintos, essa distinção é analisada em função da resposta sensorial, no qual esta resposta pode ser referente à igualdade ou distinção dos pontos (BORING, 1942). Uma pessoa consegue distinguir dois pontos na ponta do dedo a uma distância de 1 a 2 milímetros (GAYTON & HALL, 2000).

A discriminação temporal é a menor diferença de tempo entre dois estímulos diferentes, em que a pessoa estimulada percebe a diferença entre os estímulos. Nesse caso, o primeiro

estímulo aplicado na pele é mantido na memória de trabalho para ser comparado (maior, igual ou menor) com o segundo estímulo (MACHENS et al., 2005).

A intensidade do estímulo determina a magnitude de uma sensação, Aires (1999), estabelece uma relação matemática entre a sensação provocada por um estímulo e o impulso transmitido por meio dos neurônios. A aplicação de um estímulo intenso produz um aumento da frequência das descargas de potenciais de ação na fibra aferente, aumentando, conseqüentemente a descarga nos neurônios ativos e estimulando outros neurônios que se encontram passivos. Isso implica numa relação não linear, de forma exponencial. Essa relação são ilustradas na Figura 2.1.3.2.1 e Figura 2.1.3.2.2.

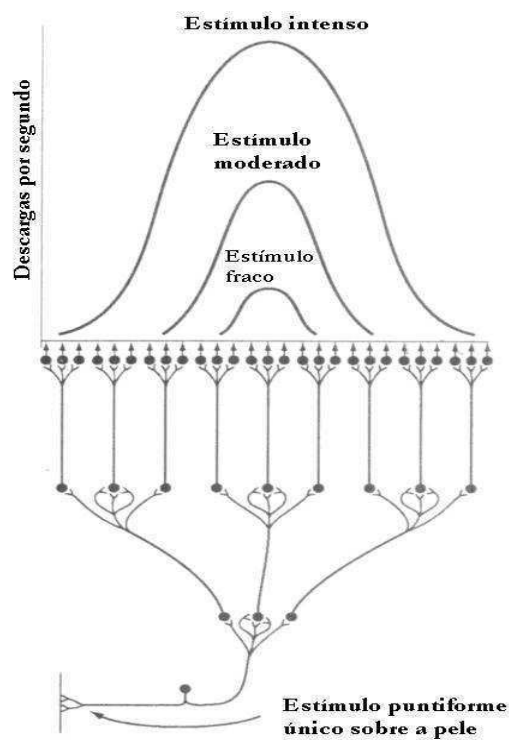


Figura 2.1.3.2.1 - Relação entre quantidade de descarga e intensidade do estímulo (GAYTON & HALL, 2002).

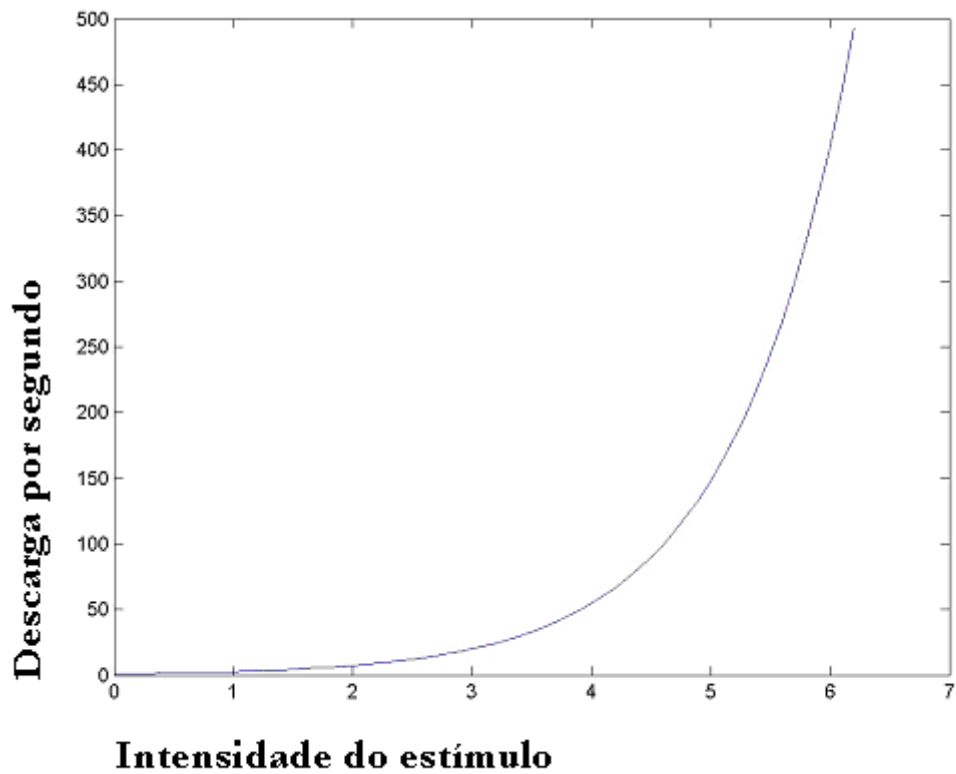


Figura 2.1.3.2.1 - Relação exponencial entre quantidade de descarga e intensidade do estímulo.

A partir da análise comparativa entre os limiares sensoriais e o local em que o estímulo é aplicado na pele pode-se identificar as regiões táteis. As pontas dos dedos, as regiões da face, são áreas cuja distância mínima para distinção entre um estímulo e outro é menor do que em regiões do dorso, conforme Figura 2.1.3.2.2 (BORING, 1942), (SHERRICK & CRAIG, 1982).

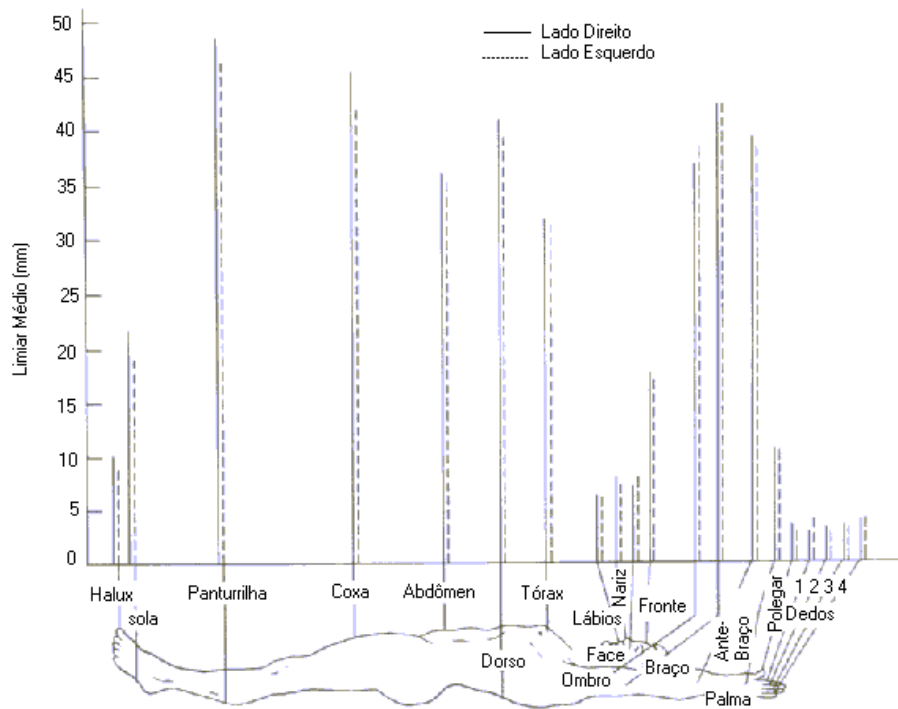


Figura 2.1.3.2.2 - Relação entre o limiar médio e região corporal (AIRES, 1999).

A análise da sensibilidade tátil é fundamental para a avaliação de capacidade tátil em sistema de reabilitação.

### 2.1.3.3 A ESTIMULAÇÃO TÁTIL

O tato pode ser estimulado para transmissão de informação por meio de mecanismos de estimulação mecânica estática <sup>6</sup>ou repetitiva (vibrátil) e estimulação térmica (eletrotátil<sup>7</sup>). Esses dispositivos de estimulação mecânica e eletrotátil são usados para a reabilitação auditiva e visual (BARROS, 2004).

O tato é um sistema sensorial limitado quanto à aquisição de informações, portanto a estimulação deve ser avaliada de maneira que sua capacidade seja bem explorada (KUC, 1989), (WAY & BARNER, 1997).

<sup>6</sup> Estimulação mecânica estática - termo usado para definir uma taxa de variação da estimulação baixa e não necessariamente constante.

<sup>7</sup> Dispositivos eletrotáteis - utilizam cargas elétricas para estimular as fibras cutâneas dos nervos aferentes. (TANG AND BEEBE, 1998), (BROWN & STEVENS, 1992), (ANTONINO, 1993).

Neste sentido, a intensidade e o local onde a estimulação tátil é aplicada devem ser avaliados de modo que a aquisição pelos receptores sensoriais e o processamento no sistema nervoso central sejam realizados e apresentem maior desempenho. Por exemplo, os estímulos vibráteis de baixa frequência (2 Hz a 80 Hz) são detectados por mais de um receptor, aumentando a possibilidade de identificação e compreensão destes (GAYTON & HALL, 2002).

#### **2.1.3.4 OS SISTEMAS TÁTEIS DE SUBSTITUIÇÃO SENSORIAL**

Os estimuladores táteis são os que provocam sensações na pele, pressão, calor ou vibração. Esses estimuladores podem ser usados em sistemas de reabilitação para transmitir informações e propiciar a comunicação aos deficientes sensoriais. Por exemplo, estimuladores de pressão ou de vibração (GEMPERLE et al., 2001), como uma matriz de estimulação tátil<sup>8</sup>, que é usada na comunicação escrita dos cegos, ou como os sistemas vibráteis usados para o ensino da fala (CABRAL et al., 2004), (BARROS, 2004).

Na bibliografia pesquisada foram encontrados vários trabalhos sobre o desenvolvimento de dispositivos que utilizam estimulação mecânica estática, vibrátil e térmica usados para realimentação visual e auditiva, e, conseqüentemente para ajuda na realibitação de cegos e surdos (HERSH & JOHNS, 2003), (ANTONINO, 1993), (WALL et al., 2004), (PEREZ et al., 1995), (KACZMAREK et al., 1991), (PEREZ, 2000), (BARROS, 1996), (BARROS, 2004), (GOLDSTEIN et al., 1976), (MCMILLIN, B & MCMILLIN, P, 1989), (IKEI et al., 1997), (KUC, 1989), (WAY & BARNER, 1997), (TANG & BEEBE, 1998), (GEMPERLE, 2001), (HUGHES & FORREST, 1996).

Os dispositivos de ajuda aos deficientes visuais e auditivos devem ser desenvolvidos de forma que a capacidade tátil seja explorada ao máximo, por isso a avaliação dos limiares sensoriais táteis, a identificação do tempo mínimo para percepção de um estímulo e da máxima quantidade de

---

<sup>8</sup> Matriz de estimulação tátil – é um dispositivo de saída, que consistem em fileira de células com seis ou oito pinos de metal ou nylon. Esses pinos são controlados eletronicamente, de forma que são movidos para cima ou para baixo de acordo com o caractere adquirido pelo sistema de entrada. Como os caracteres Braille usam somente 6 pontos, a configuração dos pontos sete e oito é usada para mostrar a posição do cursor em um texto.



energia que pode ser adquirida pelo tato é fundamental para aumentar a resolução dos dispositivos de ajuda.

## 2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PSICOFÍSICA

A quantidade de energia adquirida por uma modalidade sensorial refere-se à capacidade perceptual desta modalidade. Neste sentido, pode-se estimar essa capacidade a partir do tempo de resposta quanto à compreensão e a quantidade de estímulo recebido (STATT, 1997), (MARX & HILLIX, 1963).

A medida de parâmetros da sensibilidade tátil e a relação discriminativa entre os estímulos podem ser obtidas por meio de testes psicofísicos (JAMES, 1890). Esses testes contribuem cientificamente para o desenvolvimento de equipamentos tecnológicos para reabilitação sensorial (WAINAPEL & BERNBAUM, 2002), (KILENY & ZWOLAN, 2002).

Os estudos relacionados à psicofísica foram iniciados em 1860, a partir da contribuição resultante dos experimentos relacionados à resposta sensorial humana realizada por Ernst Heinrich Weber e por Gustav Theodor Fechner. Com a publicação do livro de Fechner intitulado "*Elementos de Psicofísica*", os métodos e a teoria da mensuração da sensação foram definidos: (BORING, 1942), (SCHULTZ, D & SCHULTZ, S, 1981), (SHERRICK & CRAIG, 1982).

### 2.2.1 MÉTODOS PSICOFÍSICOS

Os métodos psicofísicos são utilizados para medir a quantidade de energia adquirida e percebida por um sistema sensorial, dentre os quais se destacam (BORING, 1942), (JAMES, 1890):

- o método baseado nos limiares diferenciais, que consiste na análise da percepção dos limiares diferenciais<sup>9</sup>. Neste método, um estímulo é considerado como padrão e aumenta-se ou diminui-se a intensidade deste, afim de que se possa identificar a distinção mínima entre um estímulo e outro;

---

<sup>9</sup> Limiares diferenciais - é a quantidade de energia adicional em um estímulo, aumentando-o ou diminuindo-o (BORING, 1942)

- o método dos estímulos constantes em que a comparação entre dois estímulos é realizada considerando-se um estímulo padrão e o outro, tendo variação discreta e sucessivas até que se obtenha um limiar terminal<sup>10</sup>;
- o método da verificação do erro é um procedimento no qual são aplicados estímulos constantes, ou seja, estímulos iguais ou diferentes numa ordem quase aleatória. Considera-se cada estímulo como uma constante para determinar a frequência relativa para a qual cada categoria (maior, menor ou igual) é enviada. Este método também é conhecido como função psicométrica, pois se estabelece uma relação entre a percentagem e os valores dos estímulos e;
- o método dos erros mais comuns consiste no envio de um estímulo padrão e outro para comparação. Varia-se o estímulo de comparação até que este seja igualado ao estímulo padrão, a fim de se identificar o erro constate médio e o erro variável médio.

### 2.2.2 A PSICOFÍSICA RELACIONADA AO TATO

A interpretação das características de um objeto ocorre em princípio pela identificação das características básicas, tais como: material e forma da superfície, até que os mecanismos sensoriais possam integrar-se de maneira que a pessoa possa identificar esse objeto (CASELLI et al., 1996).

A avaliação de desempenho da identificação de uma informação deve-se considerar a mobilidade da mão, pois a mão estática sobre uma superfície pode propiciar apenas um entendimento parcial da informação, enquanto que a partir da movimentação da mão sobre essa superfície pode propiciar o entendimento das características detalhadas (KRUEGER, 1982), (CRAIG & SHERRINK, 1982). Essa mobilidade é necessária, pois se evita problemas de adaptação<sup>11</sup> sensorial e dissimulação<sup>12</sup> de um estímulo tátil.

---

<sup>10</sup> Limiares terminais - é a máxima quantidade de energia perceptível por um sistema sensorial (BORING, 1942).

<sup>11</sup> Adaptação - é o tempo de leitura estática, pois a adaptação propicia a perda da sensibilidade, pois o contato entre o objeto e a superfície deve ocorrer de maneira dinâmica (BORING, 1942).

<sup>12</sup> A dissimulação do estímulo tátil - envolve a presença simultânea de sinais desejados e não desejados, e a falha ao aprender o anterior ou a diminuição notável da sua magnitude sensorial (BORING, 1942)

Os parâmetros relacionados à capacidade sensorial tátil (quantidade de energia adquirida e tempo de aquisição) podem ser estimados baseados nos métodos psicofísicos e nas avaliação dos limites sensoriais táteis, como a adaptação e a dissimulação.

A realização de testes psicofísicos para avaliação da sensibilidade tátil pode ser realizada por meio da estimulação tátil (vibráteis ou matriz de estimulação tátil). São apresentados no capítulo 3 os experimentos psicofísicos para avaliação comparativa da sensibilidade tátil entre surdos, ouvintes, cegos e videntes, por meio de estimulação vibrátil.

# 3

## ESTIMULADOR VIBRÁTIL PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÁTIL DOS CEGOS, SURDOS, VIDENTES E OUVINTES

Neste capítulo é apresentada a implementação de um estimulador vibrátil e os procedimentos metodológicos para testes com cegos e surdos. No caso de surdos, visa-se o ensino/aprendizagem da fala e são discutidos os tipos de transformações de parâmetros extraídos do sinal de voz para que se possa atingir mais rapidamente a frequência alvo, com menor erro.

Em ambos os experimentos (para cegos e para surdos), são avaliados a capacidade discriminativa do canal tátil a estímulos variantes. No primeiro experimento realizado, o sistema tátil é utilizado para análise comparativa da sensibilidade tátil entre pessoas cegas e videntes, enquanto que no segundo, entre surdos e ouvintes.

### 3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTÍMULAÇÃO VIBRÁTIL

As deficiências visual e auditiva influenciam na capacidade de comunicação, linguagem oral e escrita (BARROS, 2004). As observações referentes à habilidade de comunicação desenvolvida pelos surdos, cegos e surdo-cegos, combinadas aos métodos experimentais das psicofísicas acústica, visual e tátil, apresentados no Capítulo 2, resultam em pesquisas relacionadas aos sistemas de ajuda ao ensino/aprendizagem da linguagem oral para os surdos e linguagem escrita para os cegos (WEISENBERG, 1992), (BARROS, 2004).

Na bibliografia pesquisada, os sistemas de ajuda baseados na substituição sensorial visual e auditiva são geralmente desenvolvidos para transmissão da informação acústica ou visual ao tato por meio de estimuladores vibráteis.

No entanto, além do desenvolvimento desses sistemas de ajuda é muito importante o estudo da sensibilidade tátil de surdos e cegos, por meio da utilização destes sistemas. O objetivo desse estudo é comparar a sensibilidade tátil de cegos, surdos, ouvintes e videntes.

#### 3.1.1 ESTÍMULOS VIBRÁTEIS

Os parâmetros mais importantes quando se usa a estimulação vibrátil aplicada na superfície da pele são: frequência, amplitude, duração e local do corpo (LIMA et al., 2004), (BARROS, 2004), (VERRILLO & GESCHEIDER, 1992). Na Figura 3.1.1 mostra-se um sinal típico usado na estimulação tátil, no qual são colocados em destaque os três primeiros parâmetros.



Figura 3.1.1 - Sinal típico de estimulação vibrátil (LIMA et al., 2004), (BARROS, 2004).

Existe uma faixa de frequência que é perceptível pelo tato (entre 10 Hz e 100 Hz) e existem pontos mais sensíveis a estimulação vibrátil, dentre as quais se podem citar a ponta dos dedos da

mão, a língua e a face. Dessa forma, é preciso que seja feita a avaliação de sensibilidade tátil de surdos, cegos, videntes e ouvintes nessa faixa de frequências (LIMA et al., 2004), (BARROS, 2004).

### **3.1.2 PARAMETRIZAÇÃO E CODIFICAÇÃO DE UM SINAL DE VOZ**

Nos processos de substituição sensorial, dois fatores são importantes: a maneira na qual a informação é codificada para apresentação (SCHIEDER et al., 2002) e a realimentação do sistema (VERRILO & GESCHEIDER, 1992).

Particularmente, no caso dos surdos, para que a informação acústica possa ser compreendida pelo tato é necessária a codificação desta informação (KUC, 1989), (SCHIEDER et al., 2002), ou seja, é necessário uma parametrização dos sinais de voz (BARROS, 2004) (CABRAL et al., 2004), (JOHNSON, 2000).

Quando se utilizam estimuladores vibráteis, as características mais importantes envolvidas no processo são: a forma de transformação de parâmetros de voz na frequência de estimulação, a taxa de variação da frequência de estimulação e a amplitude dos pulsos de estímulo (BARROS, 2004), (CHOLLEWIAK & WOLLWITZ, 1992), (JOHNS, 2003).

A codificação ou parametrização da informação acústica para estimulação vibrátil pode ocorrer de duas maneiras: quando o sinal de voz é aplicado como estímulo vibrátil diretamente este sobre a pele, com o mínimo de tratamento deste sinal; e quando sinal é tratado previamente, extraíndo-se um número limitado de parâmetros, neste caso, a finalidade do tratado do sinal de voz é para modulação do sinal de estimulação tátil (BARROS, 2004).

A sensibilidade tátil é maior numa faixa de frequências entre 10 e 100 Hz, que é diferente das frequências fundamentais do ser humano (no caso dos ouvintes, essa frequência é de 120 Hz para a voz masculina e 180 Hz para a voz feminina, no caso dos surdos a frequência fundamental de voz pode alcançar um valor de 600 Hz ). Necessita-se, portanto, fazer uma transformação da frequência fundamental produzida pelo surdo para uma frequência que ele seja sensível pelo tato.

O processo de ensino/aprendizagem da fala para surdos e surdos-mudos se inicia pelo treinamento da produção da frequência fundamental. Procurando fazer com que esse treinamento possa ser feito no menor tempo com o menor erro possível, BARROS (2004) propôs 4 tipos de transformações, que foram testadas neste trabalho de dissertação para se Avaliar, de forma comparativa, a sensibilidade tátil entre surdos e ouvintes. O mesmo procedimento foi usado para se comparar a sensibilidade tátil entre cegos e videntes, mesmo que a transformação não fosse necessária, mas como o procedimento experimental que tinha sido montado para surdos (que é necessária a transformação) podia também ser usada para cegos, usou-se o mesmo procedimento nos dois casos.

### **3.2 ESTIMULADOR VIBRÁTIL PARA AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA CAPACIDADE TÁTIL ENTRE SURDOS E OUVINTES E ENTRE CEGOS E VIDENTES**

Nos testes perceptuais realizados, foi utilizado um estimulador vibrátil comercial (Figura 3.2.1).

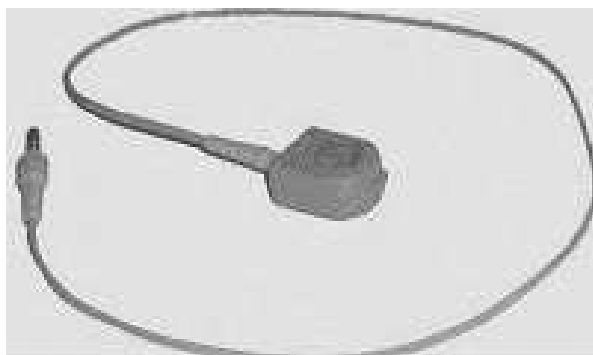


Figura 3.2.1 - Fotografia do transdutor vibrátil (LIMA et al., 2004), (BARROS, 2004).

O dispositivo vibrátil da Figura 3.2.1 é um eletroímã com uma massa suspensa por uma haste flexível, fixada na caixa que envolve todo o estimulador. O sinal elétrico de excitação do estimulador é transformado em movimento mecânico entre a massa e a caixa externa, cuja força é

proporcional a corrente elétrica que passa pelas bobinas do eletroímã. A vibração do estimulador ocorre em função da caixa que envolve o sistema não estar fixada rigidamente.

A bobina do estimulador é excitada por um sinal gerado na saída de áudio de um computador, a partir de um programa que controla o sinal gerado.

### 3.2.1 MODULAÇÃO E PARÂMETROS DE VOZ

Considerando-se as informações obtidas e apresentadas na pesquisa bibliográfica da Seção 3.1.2, sobre a modulação do sinal de voz, realizou-se a transformação de um parâmetro da voz humana para a faixa de frequências perceptíveis pelo tato (de 10 Hz a 100 Hz) (BARROS, 2004).

A transformação de parâmetros de voz para a estimulação adequada via tato pode ser feita por diversas maneiras: PLANT (1987) usou dois tipos que são representadas pelas Equações 1 e 2, cujo objetivo foi auxiliar no processo de leitura labial; BARROS (2004) usou as equações 1 e 2 e as Equações 3 e 4, cujo objeto foi o auxílio no ensino da fala, analisando essas funções como base para o desenvolvimento de ferramentas lúdicas (jogos).

As transformações representadas pelas Equações 1, 2, 3 e 4 são denominadas respectivamente de linear, logarítmica, cúbica e quadrática.

$$F_t(t) = F_c + (P_e(t) - P_a) * S \quad (1)$$

$$F_t(t) = F_c + \log\left(\frac{P_e(t)}{P_a}\right) * S \quad (2)$$

$$F_t(t) = F_c + (P_e(t) - P_a)^3 * S \quad (3)$$

$$F_t(t) = F_c + (P_e(t) - P_a)^2 * S \quad (4)$$

em que  $P_e(i)$  é o parâmetro extraído do sinal de voz,  $P_a$  é o parâmetro alvo,  $F_c$  é a frequência do pulso vibrátil obtida quando o usuário atinge o parâmetro alvo, e  $S$  é um fator de escala que define o grau de dificuldade do ensino da fala.  $F_t(t)$  é a frequência a ser gerada para excitar o estimulador



vibrátil e deve estar entre  $f_{max}$  e  $f_{min}$ , para uma variação de  $P_e(t)$  entre os  $p_1$  e  $p_2$ , definidos pelo usuário do sistema.

Para determinação do alvo, a faixa de frequências dos estímulos foi escolhida entre 10 Hz e 100 Hz, que corresponde a faixa entre  $f_{max}$  e  $f_{min}$  que é considerada a faixa ideal de frequências para determinação de um estímulo tátil. Segundo BARROS (2004), por ter característica simétrica em relação ao eixo de amplitudes, a melhor frequência de estímulo correspondente à frequência alvo, para a transformação quadrática, é 10 Hz, enquanto para as demais é a média aritmética entre  $f_{max}$  e  $f_{min}$  que corresponde a 55 Hz. Por esta razão, foram escolhidas essas frequências no sistema desenvolvido e nos testes realizados (LIMA et al., 2004). Neste sentido,  $F_c(t)$ , frequência do pulso de saída no estimulador, é função de um parâmetro medido da voz humana,  $P_v(t)$ , do parâmetro alvo,  $P_a$ , e dos elementos  $F_c = 55$  Hz ou  $F_c = 10$  Hz.

Assim, dados uma frequência  $F_c$ , o parâmetro alvo  $P_a$  e o limite superior da faixa de parâmetro detectada,  $p_2$ , pode-se obter a expressão de  $S_{max}$  e  $p_1$  para cada transformação considerada.  $S_{max}$  é o fator  $S$  que para uma faixa de variação de  $P_e(t)$

Portanto, para essas quatro transformações, nas quais os parâmetros adquiridos do sinal de voz são transformados para gerar frequências de estimulação vibrátil, os resultados são diferentes, em função da possibilidade de configuração do parâmetro alvo (BARROS, 2004), (CABRAL et al., 2004).

### 3.2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os experimentos para avaliação da capacidade discriminativa do sistema tátil a estímulos vibráteis são baseados nos métodos psicofísicos. Particularmente, aplicou-se o método do erro médio, no qual um estímulo é considerado padrão e sofre variações, a fim de que a pessoa submetida ao teste psicofísico encontre em uma faixa de variações do estímulo considerado padrão (BORING, 1942).

Neste sentido, nos testes com pessoas surdas e ouvintes, cegas e videntes, foram seguidos os passos:

1. Treinamento da pessoa sob teste para reconhecimento da frequência de estimulação tátil  $f_i(t)$  correspondente ao parâmetro alvo  $P_a$ ;
2. Escolha do grau de dificuldade,  $S$ ;
3. Envio de um estímulo inicial com frequência  $F_i(t)$  escolhida aleatoriamente pelo programa computacional. Escolhe-se também um tipo de transformação que deverá ser usada até que a pessoa sob teste indique ter acertado;
4. A pessoa submetida ao teste realimenta o sistema por meio de um mouse indicando se a frequência sentida pelo seu tato é maior, menor ou igual à frequência para a qual ele foi treinado. O programa muda então a frequência de estímulo no sentido indicado pela pessoa;
5. Quando a pessoa indica que acertou o alvo, o programa grava em memória o tipo de transformação, o grau de dificuldade, o número de iterações até esse momento e o valor da última frequência de estimulação. O erro percentual entre o valor da frequência indicada como acerto de alvo e o valor real dessa frequência (10 Hz ou 55 Hz) é calculado e guardado em memória;
6. Em seguida é repetido o processo dos itens de 3 a 5.
7. A cada conjunto de 10 transformações testadas ocorre o fechamento da aplicação do programa para que os resultados sejam armazenados em arquivo próprio.
8. Os itens de 3 a 7 são repetidos, de forma que ao final do teste se tenham 10 aquisições para cada tipo de transformação;
9. Repetem-se então os itens de 2 a 8 com um novo grau de dificuldade.

### 3.2.3 PROGRAMA COMPUTACIONAL

O programa desenvolvido para aquisição, armazenamento e processamento dos dados relacionados aos estímulos táteis aplicados nos voluntários dos testes (LIMA et al., 2004) foi denominado “simulador vibrátil”. A realimentação do sistema é realizada por meio do mouse e de uma interface gráfica, na qual são apresentados quatro botões para finalizar a aplicação, diminuir ou aumentar a frequência e indicar acerto da frequência alvo.

São armazenados para avaliação comparativa dos resultados, três parâmetros: a frequência que a pessoa submetida ao teste considerou como correta, o número de iterações ou variações de frequência que este realizou para escolher o possível ponto de acerto e o tipo de transformação.

Para cada uma das transformações foram usados dois graus de dificuldade. Dessa forma, cada pessoa testa cada transformação 20 vezes (10 em cada grau de dificuldade). Como os estímulos apresentam características distintas, é possível inferir qual dentre os tipos de transformação é mais adequado para identificar o alvo e comparar os resultados entre cegos, surdos, videntes e ouvintes.

A análise da sensibilidade entre os surdos, ouvintes, cegos e videntes, foi realizada a partir do erro percentual na frequência de acerto do alvo e do número de iterações necessárias para que a pessoa identifique a frequência alvo (LIMA et al., 2004). O fluxograma da Figura 3.2.3.1 representa o programa usado nos testes (LIMA et al., 2004).

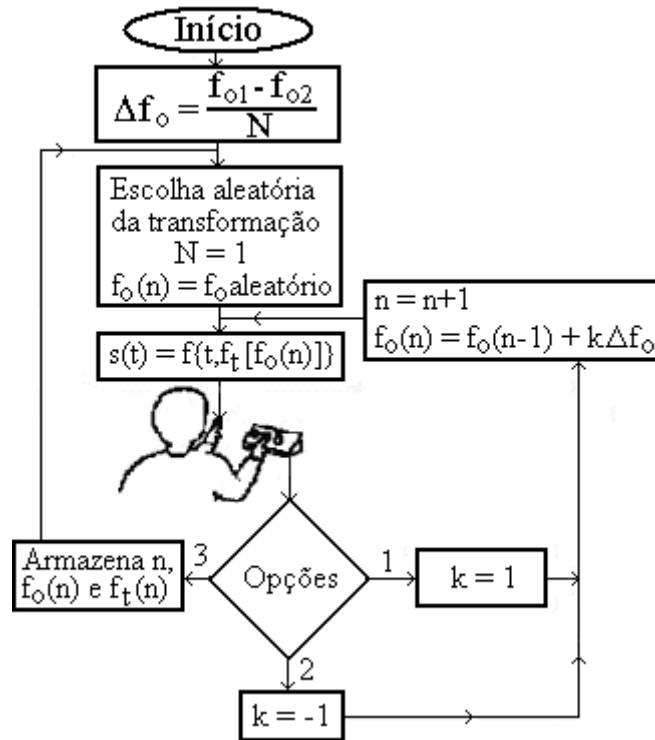


Figura 3.2.3.1- Fluxograma usado no procedimento experimental.

### 3.2.4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Testes foram feitos com voluntários cegos, videntes, surdos e ouvintes. Os resultados destes são descritos, começando-se pela apresentação de considerações para a análise dos resultados destes testes.

#### 3.2.4.1 CONSIDERAÇÕES PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES

Os parâmetros utilizados para análise dos resultados dos testes foram: o tipo de transformação, o grau de dificuldade, o número de iterações até se atingir o alvo, os erros percentuais na escolha de cada uma das frequências – o erro obtido em  $F_i$  a partir da comparação entre o ponto alvo padrão e o escolhido no teste e o erro obtido em  $P_e$  a partir do reconhecimento da frequência de vibração do ponto de acerto e o valor de referência do alvo (10 Hz ou 55 Hz).

Os valores desses erros foram calculados a partir da Equação 5:

$$E(\%) = 100 \times \frac{(P_e - P_a)}{P_a} \quad (5)$$

em que  $P_e$  é o parâmetro identificado e  $P_a$  é a frequência alvo.

Mesmo tendo sido definidas quatro transformações para os testes, resolveu-se dividir a transformação quadrática em quadrática 01 e quadrática 02. A diferença entre elas é a frequência alvo do estimulador vibrátil, na 01 essa frequência é de 10 Hz, de modo a utilizar toda a faixa de  $F_i(t)$ , ou seja, 10 Hz a 100 Hz. Na quadrática 02 ela é de 55 Hz, permitindo uma comparação direta com a frequência alvo das demais transformações, embora usando-se apenas a faixa de 55 Hz a 100 Hz. Portanto, foram feitos, com cada pessoa sob teste, 10 experimentos para cada transformação no mesmo nível de dificuldade. Nas transformações linear, logarítmica, cúbica e quadrática 02, a frequência alvo do estimulador vibrátil é 55 Hz e na quadrática 01, essa frequência é de 10 Hz.

São apresentados nas seções a seguir os resultados dos experimentos com surdos, cegos, ouvintes e videntes, para comparação entre os deficientes sensoriais e os normais.

#### **3.2.4.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS I: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA SENSIBILIDADE TÁTIL ENTRE SURDOS E OUVINTES**

Para a comparação da sensibilidade tátil entre surdos e ouvintes, foram realizados testes em quatro voluntários surdos e quatro ouvintes, utilizando-se dois níveis de dificuldade.

Nas Tabelas 3.2.4.1 e 3.2.4.2 são apresentados os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com surdos e nas Tabelas 3.2.4.3 e 3.2.4.4 os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com ouvintes. As Tabelas 3.2.4.1 e 3.2.4.3 referem-se aos testes feitos com o nível de dificuldade 1 e as Tabelas 3.2.4.2 e 3.2.4.4 com o nível de dificuldade 2. Os gráficos das Figuras 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.4.3 e 3.2.4.4 correspondem as Tabelas 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.4.3 e 3.2.4.4, respectivamente.

Tabela 3.2.4.1- Média dos erros de sensibilidade dos surdos no grau de dificuldade 1.

| Transformação | Média de erro em Pe | Média de erro em Ft | Número médio de iterações |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Cúbica        | 35,5                | 11,4                | 6,7                       |
| Linear        | 30,5                | 33,6                | 13,2                      |
| Logarítmica   | 44,9                | 50,5                | 10                        |
| Quadrática-01 | 43,8                | 114,9               | 12,8                      |
| Quadrática-02 | 50,2                | 166,2               | 17,6                      |

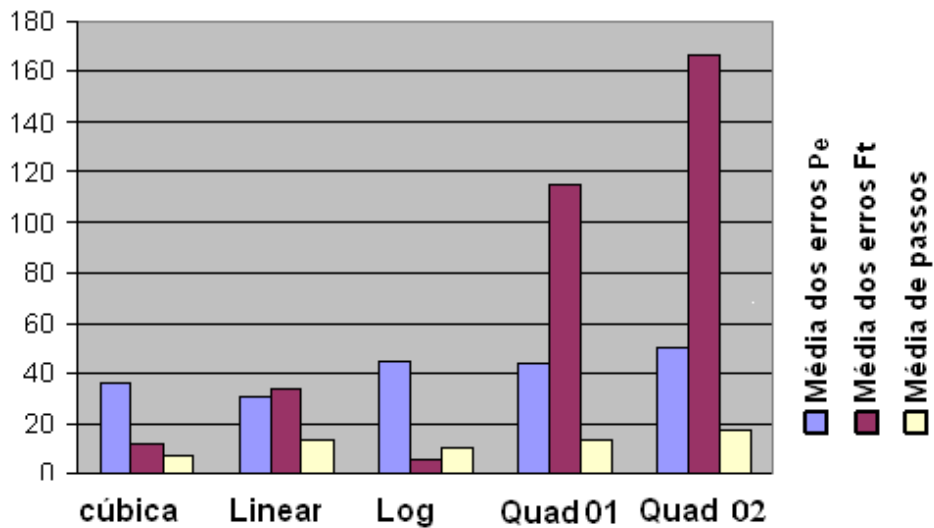


Figura 3.2.4.1 – Resultados obtidos com testes de percepção tátil em surdos no grau de dificuldade 1.

Tabela 3.2.4.2- Média dos erros de sensibilidade dos surdos no grau de dificuldade 2.

| Transformação | Média de erro em $P_e$ | Média de erro em $F_t$ | Número médio de iterações |
|---------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Cúbica        | 46,8                   | 16,9                   | 19,2                      |
| Linear        | 45,1                   | 48,4                   | 14,6                      |
| Logarítmica   | 44,5                   | 50,4                   | 11,9                      |
| Quadrática-01 | 38,1                   | 104                    | 10,1                      |
| Quadrática-02 | 54,9                   | 187,5                  | 24,2                      |

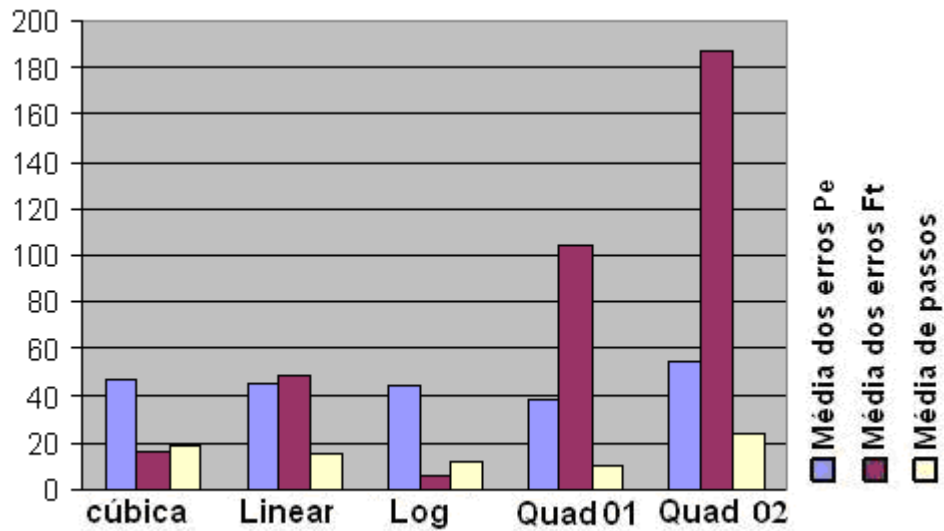


Figura 3.2.4.2- Resultados obtidos com testes de percepção tátil em surdos no grau de dificuldade 2

Tabela 3.2.4.3- Média dos erros de sensibilidade dos ouvintes no grau de dificuldade 1.

| Transformação        | Média de erro em Pe | Média de erro em Ft | Número médio de iterações |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| <b>Cúbica</b>        | 83,1                | 29                  | 65                        |
| <b>Linear</b>        | 67,2                | 88,9                | 55,1                      |
| <b>Logarítmica</b>   | 73,7                | 80,9                | 70,3                      |
| <b>Quadrática-01</b> | 74,8                | 127,7               | 83,8                      |
| <b>Quadrática-02</b> | 71,4                | 190,2               | 66,9                      |

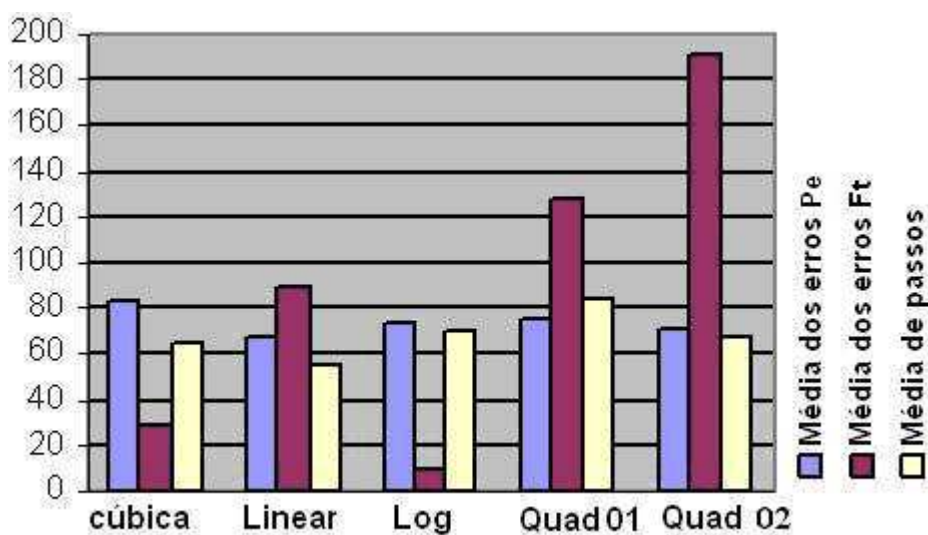


Figura 3.2.4.3 – Resultados obtidos com testes de percepção tátil em ouvintes no grau de dificuldade 1.



Tabela 3.2.4.4- Média dos erros de sensibilidade dos ouvintes no grau de dificuldade 2.

| Transformação | Média de erro em Pe | Média de erro em Ft | Número médio de iterações |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Cúbica        | 47,4                | 13,5                | 41,6                      |
| Linear        | 38,8                | 74                  | 42,3                      |
| Logarítmica   | 40,8                | 40,5                | 52,9                      |
| Quadrática-01 | 47,9                | 41,2                | 60,7                      |
| Quadrática-02 | 50,2                | 118,6               | 40,1                      |

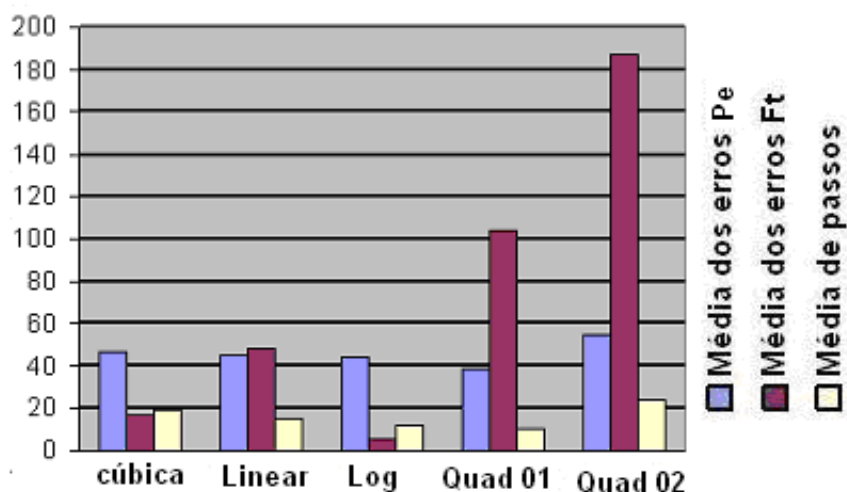


Figura 3.2.4.4 – Resultados obtidos com testes de percepção tátil em ouvintes no grau de dificuldade 2.

As seguintes observações foram realizadas a partir da análise das Tabelas 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.4.3 e 3.2.4.4 e dos gráficos das Figuras 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.4.3 e 3.2.4.4, que correspondem aos resultados da sensibilidade dos surdos nos níveis de dificuldade 1 e 2, respectivamente, e dos ouvintes nos níveis de dificuldade 1 e 2:

- Identificou-se, com base na resposta dos surdos, que o percentual de acerto do ponto alvo foi maior em todas as transformações no nível de dificuldade 01 e o número de iterações foi menor nos dois níveis de dificuldade se comparado com os

ouvintes. Conclui-se então que eles são mais sensíveis a percepção da frequência alvo, obtendo assim um menor erro e alcançando a frequência correta com maior rapidez;

- No nível de dificuldades 2, os ouvintes aparentemente obtiveram uma resposta similar aos surdos com relação aos erros na identificação da frequência alvo, mas com um número de iterações maior. A diferença do valor dos erros dos surdos e ouvintes é bem pequena, mas, a quantidade de iterações que os surdos usaram foi bem inferior a dos ouvintes, mostrando que os surdos chegaram a valores do ponto de acerto bem mais rápido. Isso pode ser explicado pelo grau de dificuldade ser maior e pelo fato de que os surdos estão habituados a usar o tato para comunicação e procuram dar respostas rápidas e o ouvinte, não estando habituado gastou mais tempo. Quanto ao fato da acertiva ser maior Conclui-se, portanto, que os surdos têm uma maior sensibilidade tátil em relação aos ouvintes.

Deste modo, estas transformações podem ser úteis no processo de oralização de surdos. Foi levado em conta apenas o erro em se encontrar o ponto de acerto ( $F_c$ ), já que a função da transformação é a de trazer o parâmetro de voz para uma frequência que possa ser facilmente percebida pela estimulação tátil.

### **3.2.4.3 RESULTADOS DO EXPERIMENTO II: ANÁLISE COMPARATIVA DA SENSIBILIDADE TÁTIL ENTRE PESSOAS CEGAS E VIDENTES**

Nos testes realizados em cegos e videntes a quantidade de pessoas testadas foi quatro pessoas cegas e quatro videntes em apenas um nível de dificuldade. Neste teste, buscou-se verificar se existem diferenças significativas entre a sensibilidade tátil de deficientes visuais e as pessoas videntes.

Foi usado um procedimento que é similar ao descrito para surdos e ouvintes. Os resultados dos testes estão representados nos gráficos das figuras 3.2.5.1 e 3.2.5.2.

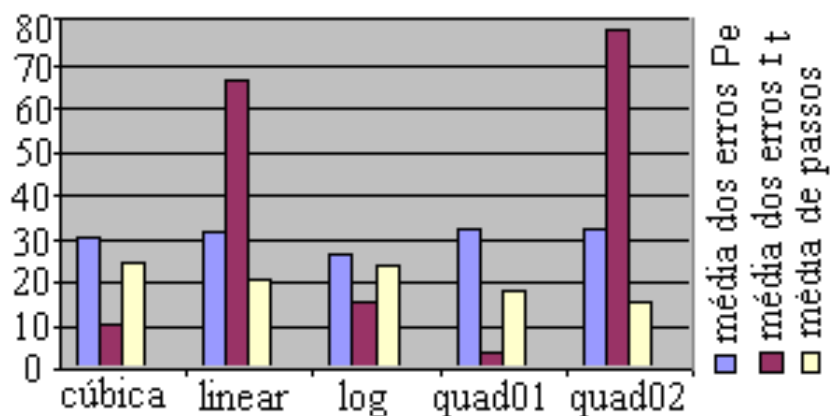


Figura 3.2.5.1 – Resultados obtidos com testes de percepção tátil em cegos.

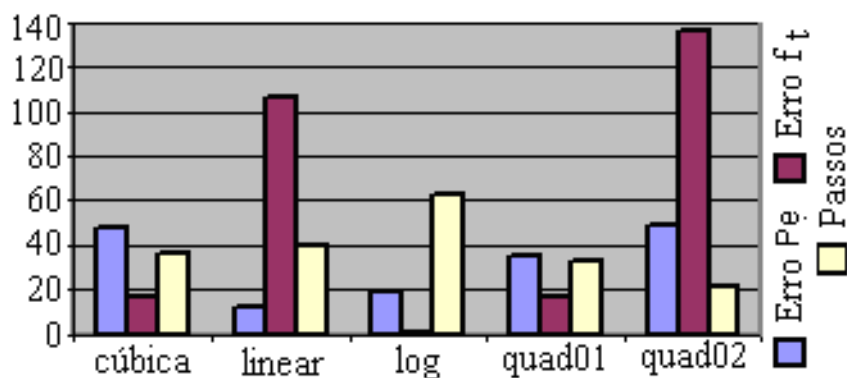


Figura 3.2.5.2 – Resultados obtidos com testes de percepção tátil em videntes.

A partir de observações dos resultados apresentadas nas Figuras 3.2.4.1 e 3.2.4.2, conclui-se que os cegos apresentaram média de erro menor, para o parâmetro de erro  $P_e$  nas transformações cúbica, quadrática 01 e quadrática 02. Na transformação linear e logarítmica as pessoas videntes apresentaram maior sensibilidade para identificar o ponto de acerto (LIMA et al., 2004).

No parâmetro de erro  $f_t$ , a maior média de acerto foi obtida pelos cegos para as transformações cúbica, linear, quadrática 01 e quadrática 02. Porém, eles também tiveram a menor sensibilidade para identificar a frequência de vibração do ponto de acerto na transformação logarítmica, tanto para o parâmetro de erro  $f_t$  quanto para o parâmetro de erro  $P_e$ . (LIMA et al., 2004).

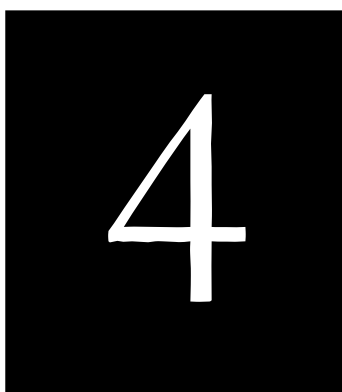
Em relação à quantidade de passos que as pessoas submetidas aos testes utilizaram para determinar um ponto como possível acerto, a média em todas as transformações foi menor para os deficientes visuais do que para as pessoas videntes (LIMA et al., 2004).

Enfim, verificou-se que os deficientes visuais têm uma sensibilidade tátil mais acentuada que os videntes, tanto pelo erro na identificação da frequência alvo, como pelo número de iterações para se chegar a essa identificação.

Conforme mostrado por BARROS (2004), a transformação quadrática tem uma característica de ponto de inflexão, diferente de todas as outras. Para se aprofundar a avaliação dessas transformações e da sensibilidade tátil de cegos e surdos propõem-se fazer um outro conjunto de testes, que são descritos a seguir.

### **3.2.5 ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES**

Nesse novo conjunto de testes devem ser mudadas a forma de treinamento da pessoa sob teste e as frequências alvo, que continuou sendo 10 Hz para a transformação quadrática 1, mas passou a ser 33 Hz (média geométrica entre 10 Hz e 100 Hz) para as outras. O treinamento das pessoas sob teste deve ser feito para cada transformação com a pessoa sabendo que tipo de transformação esta sendo usado.



## **SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO TÁTIL PARA ESTIMAÇÃO DO TEMPO DE IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERES BRAILLE**

Neste capítulo é apresentada a implementação de uma matriz de estimulação tátil e os procedimentos metodológicos a serem utilizados em testes experimentais da sensibilidade tátil de cegos e surdo-cegos. A estimativa da velocidade máxima de leitura e a identificação da menor frequência de repetição de símbolos Braille são verificadas por meio desses testes experimentais.

#### 4.1 A SENSIBILIDADE TÁTIL E A MOBILIDADE DE LEITURA BRAILLE

A relação entre a mobilidade e o processo de leitura em Braille é fundamental para o estudo da sensibilidade tátil, pois a partir dessas observações é possível identificar as os problemas que envolvem a leitura em Braille e avaliar as possíveis mudanças comportamentais do cego no processo de leitura.

Na bibliografia pesquisada foram encontrados trabalhos sobre o estudo comparativo entre a mobilidade das mãos de leitores com pouca e muita habilidade boa na leitura Braille. Exemplos desses trabalhos são mencionados a seguir (FOULKE, 1982):

- Eatman (1942) utilizou retratos de movimento das mãos de leitores de Braille;
- Kusajima's (1974) desenvolveu um dispositivo que registrava no papel o percurso que os dedos dos leitores realizava no ato da leitura;
- F.K. Merry's (1932) desenvolveu um dispositivo denominado *escritor de toque*, Que era uma espécie de braçadeira que prendia o dedo e o lápis de forma que os movimentos realizados pelo dedo eram registrados pelo lápis num papel. Para identificar o movimento de mais de um dedo usou-se mais de um lápis com cores diferentes.

A partir dos resultados obtidos nessas pesquisas foi possível inferir que a leitura Braille torna-se mais rápida se os leitores cegos utilizarem dois dedos cooperativamente num mesmo processo perceptual. Um dedo indicador deve ser usado para identificação da formatação do texto: início e fim de linhas e parágrafos, enquanto que com o outro dedo é realizada a leitura. Assim são eliminados intervalos de tempo entre uma linha e outra.

Identificou-se também nessas pesquisas que as pessoas que têm deficiência na leitura Braille apresentam movimentação irregular da mão, pois elas normalmente retraçam as linhas mais freqüentemente do que os leitores hábeis e algumas vezes há uma destruição na estrutura do caractere impresso, na tentativa de identificá-lo. Além disso, o modo de leitura desses leitores é

realizado com os dois dedos indicadores, porém de forma independente. Não havendo divisões de tarefas na leitura, os dois dedos indicadores executam a leitura na mesma linha e ambos retornam ao início da próxima linha.

Assim, o tempo total usado na leitura Braille realizados por leitores que têm dificuldade de leitura inclui um grande intervalo no qual a leitura não é realizada, pois há uma perda de tempo na procura da próxima linha a ser lida, e geralmente ocorre uma confusão no momento em que a leitura está sendo realizada em uma determinada linha e os dedos mudam para alguma das linhas próximas a que deve ser lida e o retorna para a linha correta requer um tempo considerável, que é desperdiçado.

#### **4.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIR O TEMPO DE LEITURA EM BRAILLE**

Uma matriz de estimulação tátil pode ser utilizada para transmissão de caracteres Braille para surdos e surdo-cegos, aproveitando-se a boa sensibilidade tátil destes indivíduos, conforme testes do Capítulo 3.

A sensibilidade tátil pode ser avaliada especificamente para o caso de transmissão de caracteres por matrizes de estimulação tátil. Neste caso, pode-se basear na estimação do tempo mínimo de leitura de caracteres Braille. A apresentação do caractere e o controle da velocidade de exibição desses caracteres podem ser feitos de forma dinâmica por meio da matriz de estimulação tátil.

Na bibliografia pesquisada foram encontrados alguns trabalhos sobre o desenvolvimento de matrizes de estimulação tátil, visando medir o tempo de leitura em Braille para análise da sensibilidade tátil. Dentre esses trabalhos, considera-se o equipamento desenvolvido por Nolan e Kederis (1969) e o equipamento do Laboratório da Universidade de Louisville (1974) os que tiveram maior destaque.

No dispositivo desenvolvido por Nolan e Kederis, os caracteres são exibidos em uma superfície em forma de linha, no qual os pinos são acionados por solenóides para sua elevação sob

essa superfície. Esse dispositivo foi utilizado para identificar a quantidade de caracteres que podem ser lidos em um determinado tempo antes da exibição desses à pessoa submetida ao teste de sensibilidade. Esse tempo de exibição não foi apresentado nas bibliografias pesquisadas (FOULKE, 1982).

A matriz desenvolvida por Nolan e Kederis possuía uma linha inteira de caracteres que eram acionados simultaneamente por solenóides. A velocidade de exibição e alteração de caracteres era baixa pelos seguintes motivos:

- 1- o acionamento simultâneo dos solenóides faz com que seja necessário se mover uma massa importante, aumentando o tempo de resposta;
- 2- o material utilizado para formar os pontos da matriz tinha alta densidade e tamanho elevado, e;
- 3- a distância necessária para mover os pontos da posição inicial (repouso) à posição de exibição era considerável.

Outro exemplo de dispositivo usado para estimar a velocidade de compreensão dos caracteres Braille é o desenvolvido pelo laboratório da Universidade de Louisville. Esse dispositivo foi desenvolvido como uma tentativa de melhorar a agilidade no processo de controle do dispositivo de Nolan e Kederis. Foi utilizada somente uma célula Braille que permitiu melhorar o fator agilidade em função da redução do material a ser movimentado para formar o relevo do caractere Braille (FOULKE, 1982).

Os pontos padrões desse dispositivo foram formados por pinos de metais controlados por solenóides. A elevação dos pontos pelos solenóides formava a superfície de exibição correspondente aos caracteres Braille.

A seleção do caractere para exibição era realizada por meio de um dispositivo com seis botões de entrada que representavam a célula Braille. O tempo de identificação de um caractere era



verificado por meio de um temporizador e um microfone. O temporizador era acionado a partir da exibição do caractere e desativado com um sinal proveniente do microfone (FOULKE, 1982).

### 4.3 MATRIZ DE ESTIMULAÇÃO TÁTIL

Desenvolveu-se neste trabalho de dissertação uma matriz de estimulação tátil para exibição de caracteres Braille e realimentação visual de forma a mimetizar uma célula Braille. A plataforma de exibição é constituída por seis pinos que estão distribuídos sobre uma plataforma uniforme.

Na superfície, o relevo necessário para projeção dos caracteres Braille é formado por variações de duas camadas. No nível mais baixo, os pinos apresentam um estado de repouso conforme Figura 4.3.1 e no nível alto, Figura 4.3.2, os pinos sofrem uma elevação de 1 mm, de acordo com a especificação da célula Braille apresentada no Apêndice A.

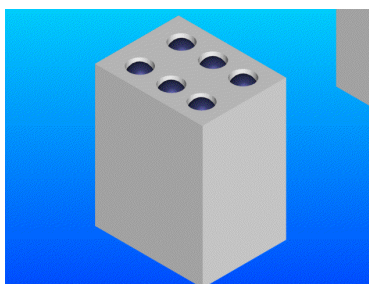


Figura 4.3.1- Plataforma de exibição no nível baixo.

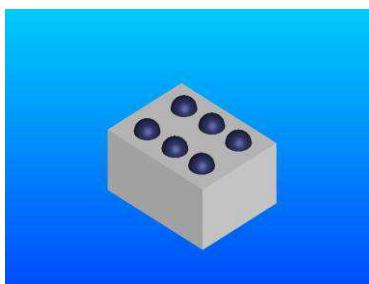


Figura 4.3.2- Plataforma de exibição em um nível alto.

Os caracteres Braille são formados pela combinação entre as duas elevações em cada pino. Para os seis pinos pode-se formar até 64 posições diversas, das quais algumas são ilustradas na Figura 4.3.3 correspondentes as letras “a”, “b”, “l”, “p”, “q”.



Figura 4.3.3- Estruturação dos pinos para criação de caracteres Braille.

A matriz de estimulação tátil é composta por um sistema eletromecânico formado por transdutores eletro-mecânicos, um circuito elétrico e um software. Utilizou-se solenóides em função da simplicidade e do baixo custo.

Na Figura 4.3.4 tem-se em diagrama de blocos, a representação completa dessa matriz.

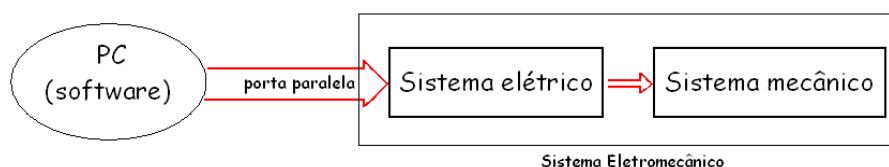


Figura 4.3.4- Diagrama em blocos da matriz de estimulação tátil.

### 4.3.1 SISTEMA MECÂNICO

O sistema mecânico do dispositivo é composto por seis hastes móveis e seis molas, sendo que cada haste é ligada a um dos pontos ilustrados nas Figuras 4.3.1 e 4.3.2. Quando o solenóide é energizado, a haste móvel tende a se deslocar devido à ação do campo magnético produzido e a mola sofre uma deformação. Ao ser desenergizado o solenóide, a haste retorna à posição inicial, Figura 4.3.1.1.

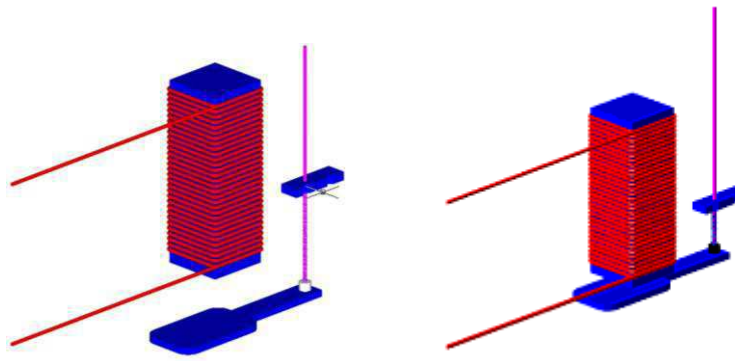


Figura 4.3.1.1 – Sistema mecânico para cada solenóide.

#### 4.3.2 SISTEMA ELÉTRICO

Os sinais de entrada do sistema eletromecânico provêm da execução de um programa que foi desenvolvido para fornecer os caracteres aleatoriamente, conforme Apêndice B. Estes sinais alimentam o circuito elétrico por meio da porta paralela que aciona ou não o solenóide, que por sua vez, eleva ou não os pinos que formarão o caractere. Nas Figuras 4.3.4. e 4.3.1.1. são ilustrados os procedimentos.

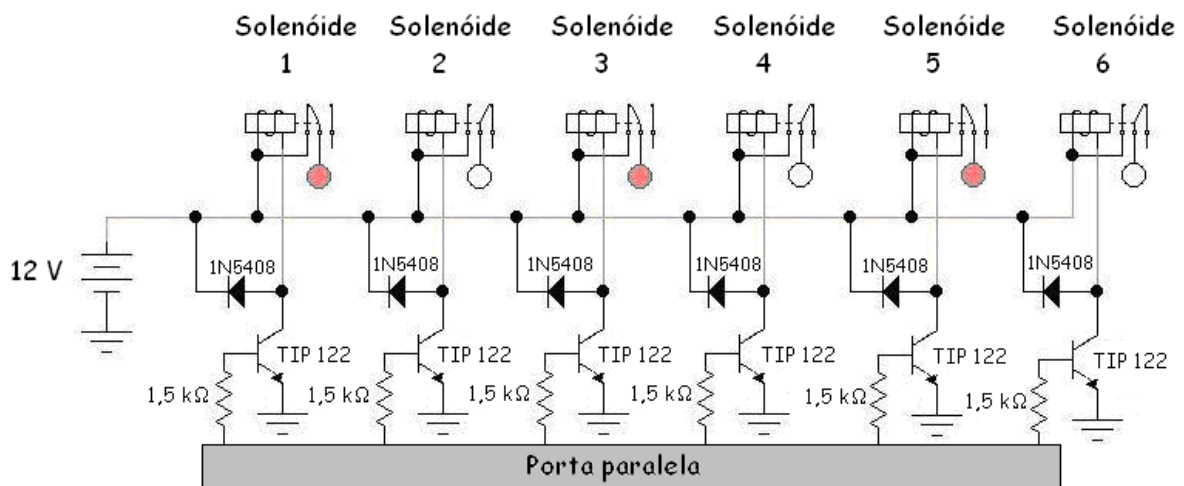


Figura 4.3.2.1 – Circuito elétrico utilizado

O circuito elétrico foi projetado de tal forma que os transistores atuem como chave, ou seja, trabalhem na região de corte ou saturação. Estando o sinal de entrada (porta paralela) em nível alto (5 V), o transistor satura, energizando o solenóide que, por sua vez, aciona o pino. O solenóide é

desenergizado quando o sinal de entrada está em nível baixo (0 V), porque o transistor está em corte, momento em que o pino se encontra na posição de repouso.

### 4.3.3 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE TÁTIL

O sistema desenvolvido tem a finalidade de estimar o tempo médio para que se possa distinguir um caracter em Braille, ou seja quanto tempo o caractere deve permanecer exibido na matriz de estimulação tátil para que o cego possa identificá-lo. Além disso esse sistema tem a finalidade de estimar a taxa máxima de mudança de caracteres de modo a se ter uma inteligibilidade aceitável.

Os caracteres Braille usados no sistema são as letras,  $a - z$ , minúsculas devido à matriz de estimulação tátil ser composta por apenas uma célula para exibição de caracteres.

Os cegos a serem submetidos ao teste devem receber a informação digital por meio de estímulos táteis de pressão, de forma que eles possam associar o estímulo com os símbolos da escrita Braille.

O tempo de identificação de caracteres Braille no processo de leitura pode ser estimado a partir de procedimentos experimentais psicofísicos.

O procedimento metodológico usado para estimação do tempo de leitura em Braille é baseado no método dos limiares absolutos em que não há distinção da variação de um estímulo pelo sistema tátil. Quando não é possível identificar a diferença entre dois estímulos, o tempo de exibição entre um pulso e outro é identificado e definido como tempo crítico. Nesse ponto a sensibilidade tátil é dita como mínima.

Os fatores fisiológicos e psicológicos influenciam alguns aspectos de maneira negativa como, por exemplo, a adaptação e cognitivo. Neste sentido, deve-se realizar um treinamento anterior aos testes, a fim de se amenizar tais influências e facilitar o conhecimento dos estímulos táteis aplicados.

Nesta acepção, os testes devem ser realizados na seguinte seqüência:

- treinamento;

- envio de caracteres em Braille e;
- medição do tempo de resposta.

A partir da matriz de estimulação tátil desenvolvida e dos resultados dos testes de sensibilidade tátil descritos no capítulo 3, quando observou-se que há diferença relevante na sensibilidade tátil de pessoas cegas comparada com a sensibilidade tátil de pessoas videntes, planejou-se realizar testes de sensibilidade especificamente com pessoas cegas.

A partir desse planejamento objetivou-se analisar as seguintes considerações para que se possa estabelecer as condições metodológicas necessárias para avaliação do desempenho tátil no ato de leitura Braille:

- legibilidade dos caracteres Braille e a das palavras compostas por esses caracteres;
- ordem de dificuldade para o reconhecimento dos caracteres Braille;
- os tipos de erros mais comuns na leitura em Braille;
- a frequência de ocorrência de caracteres específicos em Braille;
- os fatores perceptuais durante o reconhecimento de palavras Braille;
- os problemas no reconhecimento de letras exibidas aleatoriamente e palavras;
- identificação da velocidade máxima necessária para compreensão de caracteres Braille;
- comparação entre o desempenho tátil com uma célula Braille e o dedo estacionário e a leitura convencional, e;
- descrição cuidadosa e detalhada do comportamento do leitor cego na leitura em Braille;
- avaliação dos fatores físicos, sociais e culturais relacionados a pessoa sob teste, e;

- avaliação da capacidade de todos os dedos para identificação dos caracteres em relevo.

Realizaram-se testes experimentais preliminares com três cegos para avaliação da legibilidade dos caracteres Braille na matriz de estimulação tátil. Foi possível observar que a utilização de apenas uma célula Braille presente na matriz prejudicou consideravelmente o desempenho de leitura, pois os cegos submetidos aos testes tiveram dificuldade para detectar o caractere Braille devido à pouca mobilidade do dedo sobre a matriz.

Neste tipo de teste a mobilidade deve ser horizontal, como ocorre na leitura tradicional, apresentada na secção 4.1, para que a estimulação seja máxima e haja o reconhecimento do caractere em um tempo mínimo. Neste sentido, observou-se que o reconhecimento do caractere na matriz de estimulação tátil com apenas uma célula Braille era feito com a mobilidade do dedo indicador verticalmente, fator este que diminuía o tempo de leitura Braille.

Por esta razão, como continuação desse trabalho de dissertação, pode-se desenvolver uma matriz de estimulação tátil para exibição de vários caracteres Braille (linha), porém a implementação desta pode ser realizada a partir do dimensionamento dos solenóides ou da viabilidade da utilização de material como memória de forma.

## CONCLUSÃO

Com um estimulador vibrátil, foram feitos experimentos psicofísicos para avaliação da sensibilidade tátil de surdos e cegos comparados com pessoas normais. Avaliando-se os resultados desses experimentos identificou-se que os deficientes sensoriais (cegos e surdos) tiveram um maior percentual de acerto da frequência alvo com menor número de iterações. Conclui-se, portanto, que eles têm uma maior sensibilidade tátil.

Os resultados obtidos a partir da avaliação da sensibilidade tátil dos surdos e cegos são importantes para o desenvolvimento de sistemas de realimentação para o ensino da fala e da linguagem escrita, Braille, para reabilitação visual e auditiva no processo de comunicação oral e escrita.

No caso dos cegos e videntes, os resultados obtidos são fundamentais para a análise sensorial tátil no processo de aquisição e processamento de uma informação visual, pois é possível contribuir para o desenvolvimento de dispositivos que ajudem na comunicação escrita dos cegos, pelo tato.

No caso dos surdos e ouvintes, a partir da avaliação da sensibilidade tátil, no contexto do ensino da fala, é possível utilizar as transformações estudadas como base para o desenvolvimento de jogos por realimentação vibrátil.

A partir dos resultados obtidos com os cegos, em que foi identificado que estes apresentaram menor erro percentual e um número menor de iterações do que os videntes, desenvolveu-se uma matriz de estimulação tátil para ser utilizada como interface de leitura de textos, abrindo possibilidades de identificação de imagens. Para que se possa otimizar o uso dessa matriz, é necessário estimar a taxa máxima de transmissão de caracteres Braille que o sistema tátil (com estimulação nas pontas dos dedos) é capaz de receber e interpretar. As informações são transmitidas por meio de pressão de pinos sobre a pele.

O deficiente visual pode utilizar a audição para propiciar a realimentação visual e o deficiente auditivo pode usar a visão para auxiliar na realimentação auditiva, porém os surdo-cegos

só podem realizar a realimentação visual e auditiva por meio do tato. Nesta acepção, a avaliação da sensibilidade tátil e a comprovação de que os deficientes sensoriais (auditivo e visual) têm maior sensibilidade tátil e conseguem reconhecer mais rapidamente um estímulo padrão é de suma importância para o desenvolvimento de recursos de ajuda a esses deficientes.



## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS A SEREM DESENVOLVIDOS**

A mobilidade tátil para identificação mais adequada de caracteres deve ser realizada horizontalmente, pois a movimentação do tecido cutâneo é relativamente menor quando os caracteres são apresentados de forma estacionária do que quando a estimulação é realizada dinamicamente. Por esta razão, sugere-se o desenvolvimento de interfaces táteis em forma de linha para a transmissão de caracteres Braille e/ou imagens em alto relevo. Dessa forma, pode-se melhorar a inteligibilidade de palavras e frases e para isso o estudo relacionado a sensibilidade tátil no processo de leitura Braille deve ser mais aprofundado.

O estudo da sensibilidade tátil pode ser realizado comparativamente em todos os dedos (polegar, indicador, médio, anelar, mindinho) para avaliação de viabilidade de desenvolvimento de matrizes de estimulação tátil para leitura de textos em Braille, de modo que capacidade tátil de todos os dedos seja aproveitada, pois apenas os dois dedos indicadores são comumente usados para a leitura em Braille. Entretanto, outros dedos podem ter capacidade sensorial útil, e se o código Braille fosse apresentado de modo que o leitor usasse todos os dedos, esta capacidade sensorial poderia ser explorada, proporcionando assim um aumento no desempenho de leitura em Braille.



## **APÊNDICE                    A:            A**

### **COMUNICAÇÃO E O DEFICIENTE**

### **SENSORIAL VISUAL E AUDITIVO**

É apresentada neste apêndice a relação da linguagem oral e escrita e a sua importância no desenvolvimento do intelecto humano, as dificuldades relacionadas às deficiências sensoriais visuais e auditivas no processo de aprendizagem, bem como os métodos usados na comunicação desses deficientes e os dispositivos de ajuda.

## **A.1 A LINGUAGEM ORAL E ESCRITA**

A espécie humana é diferenciada das demais em função do desenvolvimento e estruturação da linguagem, tanto oral quanto escrita. Neste sentido, a linguagem é o intermédio das relações humanas, a partir desta é possível que ocorra a comunicação, socialização (ABRAL, 1991), armazenamento e transmissão de todo conhecimento humano. A cultura e a sociedade são complexas estruturas formadas pela linguagem (OLIVEIRA, 2002).

A comunicação por meio da linguagem só é possível ser realizada pelos seres humanos, pois estes têm a capacidade de cognitiva (comparação e representação de objetos). Uma criança se familiariza com os instrumentos da linguagem, percebendo objetos, observando símbolos e dando início ao processo de alfabetização (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 1999); procede, então, a formalidade da alfabetização, ou seja, o contato com a leitura e escrita, que é representada como “um código de transcrição gráfica das unidades sonoras” ou como uma “representação da linguagem” (FERREIRO, 1990).

Uma pessoa desenvolve a leitura quando presencia experiências no meio social (contato com símbolos da linguagem), tornando-se capaz de reconhecer que é necessário ter acesso ao código para o seu desenvolvimento cultural e intelectual. Isso implica na utilização de textos, comparando-os com situações e objetos reais.

O contato com a linguagem ocorre por meio dos sentidos, principalmente o da visão, no entanto, este processo de alfabetização sofre inúmeras alterações quando é específico aos deficientes visuais e auditivos, pois a ausência desses sentidos dificulta a compreensão e organização do meio (HEIMERS, 1970), (CABRAL et al., 2004), (BARROS, 2004).

Instrumentos que viabilizem, desde o início do processo de alfabetização, um contato com a linguagem oral e escrita, estabelecem uma relação de ajuda progressiva na superação das dificuldades provocadas pela ausência da visão (GOHN, 2001) e audição (CABRAL et al., 2004), instrumentos esses que deverão auxiliar na produção de textos e oralização, e conseqüentemente o

desenvolvimento cultural e intelectual ao cego e surdo (ALMEIDA, 2001), (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2001).

## **A.2 A COMUNICAÇÃO PARA O DEFICIENTE AUDITIVO E PARA OS SURDO-CEGOS**

As pessoas surdas têm diversas dificuldades, em função da linguagem dos sinais ser pouco conhecida pelas pessoas ouvintes. Isso causa um déficit de comunicação entre o surdo e a comunidade ouvinte, que usa a língua falada para se comunicar, dificultando a inserção do surdo nas escolas convencionais e no mercado de trabalho (CABRAL et al., 2004).

Essa problemática influencia no processo ensino/aprendizagem, pois o contato com a linguagem dos sinais fica restrito, dificultando o desenvolvimento cognitivo da pessoa surda (VYGOTSKI, 1998).

Por exemplo, o processo de aquisição de uma língua para uma criança ouvinte e uma surda se dá de modo distinto. Enquanto a criança ouvinte aprende a falar por meio de um processo de realimentação, no qual ela ouve as palavras e por repetição começa a reproduzi-las, associando-as ao que representam em seguida; as crianças surdas, em sua maioria, aprendem a língua de sinais, vendo objetos e associando-os aos sinais correspondentes. Com o aprendizado da língua de sinais, os surdos podem se desenvolver cognitivamente e estabelecer comunicação com seus pais, professores, outros surdos e aqueles que dominam a língua de sinais.

Existem algumas correntes que se propõem a abordar o ensino para surdos, dentre elas destacam-se (FILHO & CARVALHO, 1997):

- a Bilingüista, que defende que o surdo deve usar única e exclusivamente a língua de sinais para se comunicar, por esta ser sua língua materna;
- a Oralista, que defende que os surdos devem aprender a falar oralmente para poderem se integrar na sociedade. Neste último caso, o surdo deve passar por um processo de oralização, no qual se faz necessário que haja uma realimentação por um outro sentido, suprimindo a falta de audição, que é o canal de realimentação dos ouvintes (TUJAL, 1998).

Os surdo-cegos não podem realizar a realimentação auditiva por meio da visão, então o tato é o sistema sensorial mais apropriado para propiciar a comunicação. A comunicação dos surdos cegos é realizada pelo método Tadoma.

O método Tadoma ocorre pelo contato entre a mão do surdo-cego e a face do falante, de maneira que o polegar toque, suavemente, seu lábio inferior e os outros dedos pressionem, levemente, as cordas vocais. Este procedimento possibilita a interpretação da emissão dos sons pelo movimento dos lábios e da vibração das cordas vocais (REED et al., 1996).

### **A.2.1 A COMUNICAÇÃO DO DEFICIENTE VISUAL**

A alfabetização dos deficientes passa pelo desenvolvimento da interpretação das informações viabilizadas por meio da modalidade tátil, a partir da qual eles são capazes de reconhecer informações detalhadas quanto à forma, à textura, à dureza e à temperatura do objeto tocado (PARKER, 1992), (LIMA et al., 2004).

A comunicação escrita das deficientes visuais é prejudicada em função da escrita visual ser predominante no ambiente cotidiano, principalmente no mercado de trabalho e nas escolas. Por isso no século XVIII houve uma tentativa de amenizar a problemática social e cultural, no que tange a visual, partindo de Valentin Huay a iniciativa de fundar em Paris a primeira escola destinada à educação dos deficientes visuais, no ano de 1784, com uma metodologia baseada em recortes de letras. Mas em função da complexidade (tamanho da letra grande, livros volumosos) e da inflexibilidade (leitura lenta e cansativa) da utilização desta técnica, foi criado por Barbier em 1814 a chamada “escrita noturna”, simbologia de pontos em relevo; e baseado neste principio, Louis Braille completou em 1824 o primeiro alfabeto constituído por uma matriz de seis pontos (três linhas e duas colunas) em relevo, que hoje conhecemos por sistema Braille (BIRCH, 1970).

Ao longo do processo histórico, o alfabeto Braille foi aperfeiçoado adaptando-se com uma excelente aceitação às mais variadas línguas e tipos de grafias e popularizando-se como padrão no

processo de escrita e leitura pelos deficientes visuais, facilitando sua integração social, e contribuindo para sua formação educacional e cultural.

### A. 2.1.1 O CÓDIGO BRAILE

Os processos da escrita e leitura direcionados aos deficientes visuais são viabilizados de forma universal por meio do sistema Braille, que foi desenvolvido na França por Louis Braille, sendo reconhecido no ano de 1825 como um marco muito importante para a educação e a integração dos deficientes visuais na sociedade (LIMA et al., 2004), (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 1995).

O sistema Braille é composto por 63 caracteres em relevo que representam letras, números, sinais de pontuação, acentuação, algumas sílabas e contrações, o sistema Braille não se limita apenas à simbologia dos literais, mas também a matemática, química, musical e fonética (BASU et al., 1998).

O sistema Braille apresenta uma excelente flexibilidade quanto às diferenças de uma Língua a outra, principalmente se aplicado à Língua Portuguesa. O alfabeto Braille usado no Brasil para representar letras é ilustrado na Figura A.2.2.1.1.

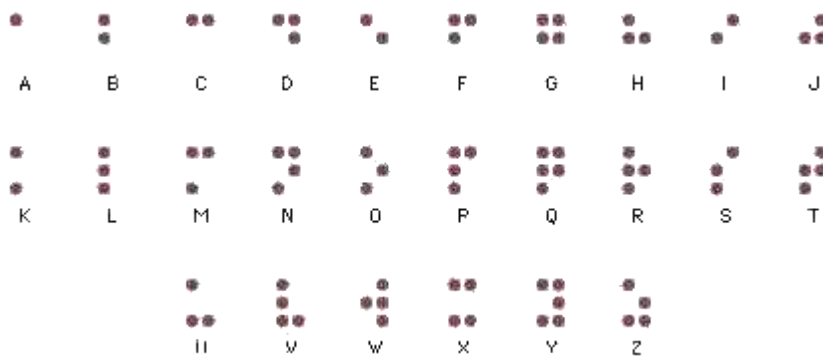


Figura A.2.2.1.1 - Alfabeto Braille

### A. 2.1.2 A CÉLULA BRAILLE

A célula Braille é caracterizada por uma matriz de duas colunas de 3 (três) pontos, conforme ilustrada na Figura A.2.2.2.1.

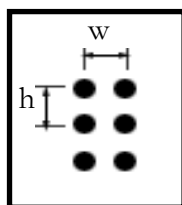


Figura A.2.2.2.1 - Modelo esquemático de uma Célula Braille

No qual a letra  $w$  representa a distância horizontal ponto a ponto e a letra  $h$  a distância vertical ponto a ponto.

Outras especificações referente a célula Braille são essenciais, como apresentado na Tabela A.2.2.2.1.

Tabela A.2.2.2.1.- Dimensões da célula Braille

| W (mm)    | H (mm)    | Diâmetro da base mm | Altura do ponto (mm) |
|-----------|-----------|---------------------|----------------------|
| 2,5 – 2,5 | 2,5 – 2,5 | 1,5 – 1,6           | 0,6 - 0,9            |

### A. 2.1.3 DISPOSITIVOS DE AJUDA AOS DEFICIENTES VISUAIS E AUDITIVOS

. O acesso à informação digital do ambiente informático pode ocorrer por interfaces não visuais. Esta informação pode ser transcrita por meio de sistemas computacionais e enviadas para impressoras Braille, estimuladores táteis ou dispositivos acústicos para sistemas de síntese de voz (LEGGE et al., 2000).

Existem dispositivos de ajuda que propiciam a conversão de textos em sons, possibilitando ao cego o entendimento de textos visuais (AGARWAL et al., 2002).

Os sintetizadores de voz como o Braille falado, Dosvox e o virtual vision são aplicativos que propiciam uma interface com o usuário por síntese vocal, na qual os textos são soletrados para o usuário e as telas dos sistemas aplicativos podem ser lidas (PIMENTEL, 1998).

Porém tais sistemas não são adequados a pessoas que apresentam, além da deficiência visual, a auditiva, especificamente os surdo-cegos, por isso, a transcrição computadorizada de uma informação para ser enviado via tato é importante para os surdo e cegos e fundamental para os surdo-cegos.

É fundamental, porém, salientar a limitação dos sistemas de síntese de voz no processo educativo dos cegos, pois as diferenças fonéticas da linguagem são compreendidas por uma pessoa principalmente pela linguagem escrita, logo, este sistema não pode ser utilizado como substituição do sistema Braille (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 1995).

A informação visual pode ser apresentada ao cego por meio de impressoras Braille ou matrizes de estimulação tátil.

As impressoras Braille têm como base de construção o mesmo modelo das impressoras de impacto, porém os textos são impressos em papel de gramatura elevada, na qual a impressão é gravada no verso do papel (côncavo) e o deficiente visual faz a leitura no lado reverso (convexo) (BRANDÃO, 2003).

Tanto as impressoras quanto os estimuladores táteis ajudam o deficiente visual no processo ensino/aprendizagem do Braille para os deficientes visuais.





**APÊNDICE B: PROGRAMA PARA  
ESTIMAÇÃO DO TEMPO DE  
IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERES  
BRAILLE.**

É apresentado neste Apêndice o algoritmo desenvolvido na linguagem de programação C para estimar o tempo de identificação de caracteres Braille aleatórios

## B.1 A DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

Desenvolveu-se um programa computacional para atuar no controle de envio dos caracteres Braille para a porta paralela e estimação de seu tempo mínimo de apresentação. O cego submetido ao teste recebe a informação pelos receptores sensoriais do tato.

A funcionalidade do sistema é dividida em quatro fluxos operacionais:

- aquisição do caractere para apresentação;
- transcrição para o Braille;
- exibição do caractere Braille na plataforma e;
- realimentação para identificação do tempo de exibição mínimo.

A aquisição dos caracteres é realizada por meio de um algoritmo que escolhe aleatoriamente cada um dos caracteres a serem exibidos no sistema eletromecânico.

O caractere escolhido é transcrito para o Braille e enviado em forma de sinal elétrico para a porta paralela do computador. Este sinal elétrico corresponde à entrada do sistema eletromecânico. Utilizou-se duas chaves separadamente para especificar um acerto ou um erro do caractere.

Estando a matriz de estimulação tátil acionada, inicia-se o procedimento da realimentação do sistema. Inicialmente é solicitado um valor correspondente ao tempo de exibição do caractere.

O período de apresentação de um símbolo é reduzido pela metade quando for identificado um acerto pelo sistema. Quando um erro for detectado (ponto crítico), 10 amostras de caracteres são exibidas no mesmo período em que ocorreu esse erro. O processo de associação cognitiva é analisado de acordo com a resposta dos cegos. O tempo mínimo de identificação de um caractere Braille é determinado pela análise percentual do ponto crítico.

Após a identificação do ponto crítico, verifica-se nessas 10 amostras se o percentual de erro foi igual ou superior a 50%.

Os caracteres exibidos antes e após o ponto crítico são armazenados para análise posterior e o programa é finalizado.

## **B.1.2 ALGORITMO DESENVOLVIDO**

Código principal

Código principal



### **B.1.2.2 BIBLIOTECA**

Biblioteca



Biblioteca

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABRAL, E.C.** *Introdução à psicolinguística*. São Paulo: Editora Ática, 1991
- AGARWAL, A. K; NAMMI, K; KACZMAREK, K. A; TYLER, M. E; BEEBE, D. J.** *A hybrid Natural/ Artificial electrostatic Actuator for tactile stimulation*.
- AIRES, Margarida de M.** *Fisiologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.
- ALMEIDA, M. G.** *Alfabetização da Pessoa Cega*. In: Simpósio Brasileiro sobre o Sistema Braile, 2001, Salvador. *Anais*. Salvador: MEC, 2001.
- 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, universidade estadual de Campinas, faculdade de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Biomédica. Campinas: fevereiro de 1993.
- BARROS, A. T.** *Estudo de sistemas de estimulação eletrotátil para percepção de informações sonoras*. Dissertação de mestrado, UFCG Junho de 1996.
- BARROS, A. T.,** *Estimulação Tátil Aplicada ao Ensino/Aprendizagem da Fala*. Tese de doutorado, UFCG, fevereiro de 2004.
- BASU, A; DUTTA, P; ROY, S; BANERJEE, S.** *A PC-based Braille library system for the sightless*. Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on [see also IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation] Volume 6. (P. 60 - 65). Março, 1998.
- BEAR, M. F; CONNORS, B. W; PARADISO, M. A.** *Neurociências, desvendando o sistema nervoso*. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- BERNE R. M. & LEVY M. N.** *Fisiologia*. Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 2000.
- BIRCH, Beverley.** *Personagens que mudaram o mundo, os grandes humanistas: Luis Braille*. São Paulo: 1970.
- BLISS, J. C.** *Kinesthetic-tactile communications*. Information Theory, IEEE Transactions on Volume 8, (P. 92 – 99). Volume: 8. Fevereiro, 1962.

**BORING E. G.** *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: Appleton-century-crofts, Harvard University, 1942

**BRANDÃO. B.** *Hardware para deficientes*. Disponível em:

<<http://www.inf.ufsm.br/brandão/deficientes.htm> Acesso em 02 out. 2003.

**BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO, INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT**, *Educação Especial- deficiente visual, encaminhamento profissional*; Rio de Janeiro: IBCENTRO, Periódicos, nº 1, 1995.

**BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL**, Campanha Nacional de Educação dos Cegos. *Sistema Braille Grau 2 da língua portuguesa*. Brasília, 1999.

**BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTO, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO ESPECIAL**, *Programa de Capacitação de Recursos Humanos do Ensino Fundamental: área de deficiência Visua*; Brasília: MEC, Série Atualidades Pedagógicas, nº 3, 2001.

**BRESCIANI, J. P; ERNST, O. M; DREWING, K; BOUYER, G; MAURY, V; KHEDDAR, A.** *Feeling what you hear: auditory signals can modulate tactile tap Perception*. Received. Springer-Verlag 2004.: 10 April 2004 / Accepted: 23 September 2004 / Published online: 10 December 2004.

**BROWN. B H & STEVENS. J. C;** *Electrical stimulation of the skin*. In I.R. Summers (Ed.), *Tactile aids for the hearing impaired* (p. 1-36). London: whurr Publisher, 1992.

**CABRAL, M. M. R.A; FREIRE, R. C. S; BARROS, A. T; NEGRÃO, J. F. R; LIMA, A.C.** *Avaliação da sensibilidade tátil de surdos para ensino/aprendizagem da fala*. III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica, 2004.

**CALDWELL, D.G.; LAWThER, S.; WARDLE, A.** *Multi-modal cutaneous tactile feedback*. Intelligent Robots and Systems '96, IROS 96, Proceedings of the IEEE/RSJ

International Conference. Volume: 2. (P. 465 – 472). Novembro, 1996.

**CASELLI, S.; MAGNANINI, C.; ZANICHELLI, F.; CARAFFI, E.** *Efficient exploration and recognition of convex objects based on haptic perception*. Robotics and Automation, 1996. Proceedings. IEEE International Conference on Volume 4, (P. 3508 – 3513). Volume: 4. Abril, 1996.

**CHOLEWIAK R.W; WOLLOWITZ M,** *The Design of vibrotactile transducers*. In I.R. Summers (Ed.), Tactile aids for the hearing impaired (p. 1-36). London: whurr Publisher, 1992.

**COSTARZO, L. S.** *Fisiologia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

**CRAIG. J. C & SHERRICK. C. E;** *Dynamic tactile displays*. In W. Schiff & E. Foulke (Ed.), Tactual Perception: a sourcebook (p. 209-233). USA: cambridge University press, 1982.

**CROSSMAN, A.R. & NEARY, D.** *Neuroanatomia*. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan: 2000. Traduzido por Chalés Alfred Esbérard. Tradução de: Neuroanatomy.

**DANGELO, J. G & FATTINI, C. A.** *Anatomia básica dos sistemas orgânicos*. São Paulo: Ateneu, 1997.

**DEESE, J & HULSE, S. H.** *A psicologia da aprendizagem*. São Paulo: Livraria pioneira, 1975

**ENCICLOPÉDIA BARSA**, Rio de Janeiro, 2003

**EZAWA, R. M.** *Perception Equipment for Skin Vibratory Stimulation*. Department of Electrical Engineering. Industrial Research Institute of Kanagawa Prefecture. IEEE engineering in medicine and biology magazine. Setembro, 1988.

**FALCÃO, G. M.** *Psicologia da aprendizagem*. São Paulo: Ática. 2002.

**FERREIRO, E.** *Reflexões sobre alfabetização*. São Paulo: Cortez, 1990.

**FILHO, L & CARVALHO, O.** *Tratado de Fonoaudiologia*. Texto Escola e Escolahs:

Processo Educacional dos Surdos. de: HARRISON, K.M.P., LODI, A.C.B., MOURA, M.C. – São Paulo: Roca, 1997.

**FOULKE E.** *Reading braille.* In W. Schiff & E. Foulke (Ed.), *Tactual Perception: a sourcebook* (p. 168-207). USA: cambridge University press, 1982.

FRITZ, J.P & BANER, K.E. *Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments.* Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions, volume: 7, (p. 372-384), setembro, 1999.

**GANONG, William Francis, *Fisiologia médica.*** São Paulo: Atheneu, 1989.

**GARCIA, E. A.C.** *Biofísica.* São Paulo: Sarvier, 2002

**GEMPERLE, F.; OTA, N.; SIEWIOREK, D.** *Design of a wearable tactile display.* Wearable Computers, 2001. Proceedings. Fifth International Symposium on 8-9. (P. 5 – 12). Outubro, 2001.

**GOHN, M. G.** *Movimentos Sociais e Educação.* São Paulo: Cortez, 2001.

**GOLDSTEIN, M., JR.; STARK, R.; YENI-KOMSHIAN, G.; GRANT, D.** *Tactile stimulation as an aid for the deaf in production and reception of speech: Preliminary studies.* Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '76. Volume: 1, (P. 598 – 601). Abril, 1976.

**GOSS, C. M.** *Gray Anatomia.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogar, 1988.

**GUYTON, A. C & HALL, J. E.** *Tratado de Fisiologia Médica.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

**HALE, K.S.; STANNEY, K.M.** *Deriving haptic design guidelines from human physiological, psychophysical, and neurological foundations.* Computer Graphics and Applications, IEEE. (P. 33 – 39). Volume: 24, março – abril, 2004.

**HARRISON, T. R; BRAUNWALD, E; FAUCI, A. S; KASPER, D. L; HAUSER,**

**S. L; LONGO, D. L; JAMESON, J. L.** *Medicina interna*. Rio de Janeiro: Mc Graw-Hill, 2002

**HEIMERS, W.** *Como educar meu filho cego*. Traduzido por Huberto Schoenfeldt. São Paulo: Ministério da Educação - MEC, 1970.

**HERSH, MARION A; JOHNS, M. A.** *Assistive technology for the hearing-impaired deaf and deafblind*. London: Spring, 2003.

**HUGHES, R.G & FORREST, A.R.** *Perceptualisation using a tactile mouse*. Visualization '96. Proceedings. (P. 181 – 188), Outubro,- novembro, 1996.

**IKEI, Y.; WAKAMATSU, K.; FUKUDA, S.** *Vibratory tactile display of image-based textures*. Computer Graphics and Applications, IEEE. Volume 17. (P. 53 – 61), Novembro.- Dezembro. 1997.

**JACOB S. W; FRANCONI, C. A; LOSSOW, W. J.** *Anatomia e fisiología humana*. São Paulo: Guanabara, 1990.

**JOHNSON, L. R.** *Fundamentos de fisiologia médica*. Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 2000

**KACZMAREK, K.A.** *Sensory augmentation and substitution*. The biomedical engineering, Handbook. USA: CRC IEEE, 1995.

**KACZMAREK, K.A.; WEBSTER, J.G.; BACH-Y-RITA, P.; TOMPKINS, W.J.** *Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems*. Biomedical Engineering, IEEE Transactions. Volume: 8. (P. 1 – 16). Janeiro, 1991.

**KILENY, P. R & ZWOLAN, T. A.** *Reabilitação do deficiente auditivo*. Tratado de medicina de reabilitação princípios e pratica. (P. 1837- 1846). São Paulo: Manole, 2002

**KIRMAN, J. H.** *Tactile communication of speech*. In W. Schiff & E. Foulke (Ed.), Tactual

Perception: a sourcebook (p. 234-260). USA: cambridge University press, 1982.

**KRUEGER, L. E.** *Tactual perception in historical perspective: David Kat's world of touch.* In W. Schiff & E. Foulke (Ed.), *Tactual Perception: a sourcebook* (p. 55-80). USA: cambridge University press, 1982.

**KUC, Z.** *A bidirectional vibrotactile communication system: tactual display design and attainable data rates.* CompEuro '89., 'VLSI and Computer Peripherals. VLSI and Microelectronic Applications in Intelligent Peripherals and their Interconnection Networks', Proceedings. (P. 2/101 - 2/103) 8-12 Maio.

**LEGGE, G. E; MADISON.C; MANSFIELD. S** *Measuring braille reading speed with the mnread test.* Minnesota Laboratory for low- vision research. University of Minnesota: Minneapolis, 2000.

**LIMA, A.C; FREIRE, R. C. S; BARROS, A. T; NEGRÃO, J. F. R; ALVES, R. N. C; CABRAL, M. M. R.A.** *Análise comparativa entre a sensibilidade tátil de pessoas cegas e videntes.* III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica, 2004.

**MACHADO, A. P. M.,** *Neuroanatomia Funcional.* São Paulo: Athenele, 2000.

**MACHENS, C. K; ROMO, R; BRODY, C. D.** *Flexible Control of Mutual Inhibition: A Neural Model of Two-Interval Discrimination.* Science magazine; 307: 1121-1124 [DOI: 10.1126/science.1104171] 18 de fevereiro de 2005.

**MARX, M. H & HILLIX, W. A.** *Sistemas e Teorias em psicologia.* São Paulo: Cultrix. 1963.

**MASSINO, J. M.** *Sensory substitution for force feedback in space teleoperation.* Tese de doutorado, Massachusetts Institute of Technology, junho, 1992

**MCMILLIN, B.M.; MCMILLIN, P.Y.** *Personal computing for the visually impaired.* Potentials, IEEE. Volume: 8. (P. 17 – 20). Maio, 1989.

**MOUNTCASTLE, V. B,***Fisiologia médica.* Rio de Janeiro: Guanabara koogan, 1978

**NEVES, R. R.** *Memória de trabalho e processamento sintático.* Psicologia do desenvolvimento:

contribuições interdisciplinare. Belo Horizonte: Health, 2000.

**OLIVEIRA, M. A. D.** *Neurofisiologia do comportamento*. Canoas: ULBRA, 2001.

**OLIVEIRA, P. S.** *Introdução à sociologia*. São Paulo: Guizzo, 2002.

**PARKER, S.** *Conviver a cegueira*. São Paulo: Scipione, 1994.

**PARKER, S.** *O tato, o olfato e o paladar*. São Paulo: Scipione, 1992.

**PEREZ, C.A; HOLZMANN, C.A; OSORIO, M.E.** *Optimization of the envelope of a short duty cycle pulse waveform for tactile stimulation*. Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE 17th Annual Conference. Volume 2. (P. 137 – 1138) Setembro, 1995.

**PEREZ, C.A; SALINAS, C; SANTIBANEZ, A.** *Vibrotactile sensation thresholds related to parameters of a pulse burst stimulus*. Engineering in Medicine and Biology Society. Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE. Volume: 2. (P. 1570 – 1572). Julho, 2000.

**PETRI, D.** *Sociolinguística os níveis da fala*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1987

**PIMENTEL, Marcelo.** *Dox Vox*. Disponível em: <<http://www.nce.ufrj.br/aau/dosvox.htm>. Acesso em 02 out. 2003.

**PLANT, G.** *The selection and training of tactile aid users*. In I.R. Summers (Ed.), *Tactile aids for the hearing impaired* (p. 1-36). Lodon: whurr Publisher, 1987.

**REED, C. M; DURLACH, N. I; DELHORNE, L. A.** *Natural methods of tactual communication*. In I.R. Summers (Ed.), *Tactile aids for the hearing impaired* (p. 218-251). Lodon: whurr Publisher, 1996.

**ROBERTS, A.** *Reabilitação psicossocial do cego*. Traduzido por Vânia de Brito Sanguinetti Ferreira. João Pessoa: Editora Universitária, 1996. Tradução de: *Psychosocial Rehabilitation of the Blind*.

**SCHIEDER, T.; WILKS, C.; RONTZEK, T.; ECKMILLER, R.** *Towards a tunable tactile communication system: concept and first experiments*. Neural Networks for Signal



Processing. Proceedings of the 2002 12th IEEE Workshop on 4-6. (P.767 – 776), Setembro. 2002.

**SCHULTZ, D. P & SCHULTZ, S. E.** *História da psicologia moderna*. São Paulo: Cultrix, 1981

**SHERRICK. C. E & CRAIG. J. C.** *Psychophysics of touch*. In W. Schiff & E. Foulke (Ed.), Tactual Perception: a sourcebook (p. 55-80). USA: cambridge University press, 1982.

SOUZA, R. R. *Anatomia humana*. São Paulo: Manote, 2001

**STATT, D. A.** *Introdução a psicologia*. São Paulo: Harbra, 1997.

**STATT. D. A.** *Introdução a psicologia*. São Paulo: Harbra Ltda, 1997.

**STETTEN, G.** *Vision system*. The biomedical engineering, Handbook. USA: CRC IEEE, 1995.

**STUART, M; TURMAN, A.B; SHAW, J; WALSH, N; NGUYEN, V.** *Effects of aging on vibration detection thresholds at various body regions*. School of Biomedical Sciences, University of Sydney, Lidcombe, 2141, NSW, Australia. Corresponding author. Received 2002 August 12; Accepted 2003 February 25.

**TADDEUCCI, D.; LASCHI, C.; LAZZARINI, R.; MAGNI, R.; DARIO, P.; STARITA, A.** *An approach to integrated tactile perception*. Robotics and Automation, Proceedings. IEEE International Conference. (P. 3100 – 3105). Volume: 4, Abril, 1997.

**TANG, H & BEEBE, D.J** *A microfabricated electrostatic haptic display for persons with visual impairments*. Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on [see also IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation]. Volume 6. (P. 241 – 248), Setembro, 1998.

**TERWILLIGER, R. F.** *Psicologia da linguagem*. São Paulo: editora da universidade de São Paulo, 1974.

**TORTORA, G. J.** *Corpo humano, fundamentos e anatomia e fisiologia*. Porto Alegre: Artmed, 2000

**TUJAL, P. M. & SOUZA, M. N.** *Sistema de Realimentação Visual para Oralização de Surdos.* Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, pp. 163-164, Curitiba, PR, Brasil, 1998.

**VERRILO, R. T & GESCHEIDER, G. A.** *Perception via the sense of touch.* In I.R. Summers (Ed.), *Tactile aids for the hearing impaired* (p. 1-36). Lodon: whurr Publisher, 1992.

**WAINAPEL, S. F & BERNBAUM, M.** *Reabilitação do paciente com deficiência visual.* Tratado de medicina de reabilitação princípios e pratica. (P. 1819- 1835). São Paulo: Manole, 2002

**WALL, C.I.I.I.; ODDSSON, L.E.; HORAK, F.B.; WRISLEY, D.W.; DOZZA, M.** *Applications of vibrotactile display of body tilt for rehabilitation.* Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. EMBC 2004. Conference Proceedings. 26th Annual International Conference. Volume: 7. (P. 4763 – 4765). Setembro, 2004.

**WAY, T.P.; BARNER, K.E.** *Automatic visual to tactile translation. in evaluation of the tactile image creation system;* rehabilitation engineering, iee transactions on [see also iee trans. on neural systems and rehabilitation]. volume: 5, março, 1997.

**WEISENBERG, J. M.** *Signal processing strategies for single-channel systems.* In I.R. Summers (Ed.), *Tactile aids for the hearing impaired* (p. 1-36). Lodon: whurr Publisher, 1992

**WORLD HEALTH ORGANIZATION.** Disponível em:<[www.who.int/mediacentre/news/releases.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases.html)> Acessado em 10/05/2004.

**ZHOU, Z; CHEOK, A.D.; LIU, W; XIANGDONG CHEN; FARZAM FARBIZ; XUBO YANG; HALLER, M.;** *multisensory musical entertainment systems.* Multimedia, IEEE, volume: 11, (p. 88 – 101), julho-setembro, 2004.

**ZWOLAN, T. A.; KILENY P. R.,** *Cochlear implants for the profoundly deaf.* Computer-Based Medical Systems, 1993. Proceedings of Sixth Annual IEEE Symposium. (P. 241 – 246). Junho, 1993.

