

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO - FAGED
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO - PPGEDU

Cláudio Luciano Dusik

**A INTERAÇÃO ENTRE INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR E SUJEITOS
COM INCAPACIDADE MOTORA GRAVE PARA COMUNICAÇÃO**

Porto Alegre

2018

Cláudio Luciano Dusik

**A INTERAÇÃO ENTRE INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR E SUJEITOS
COM INCAPACIDADE MOTORA GRAVE PARA COMUNICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação.

Orientadora: Dr^a. Lucila Maria Costi Santarosa

Linha de Pesquisa: Informática na Educação.
Núcleo de Informática na Educação Especial

Porto Alegre

2018

Catálogo

D973i Dusik, Claudio Luciano
A interação entre interface cérebro computador e sujeitos com incapacidade motora grave para comunicação / Claudio Luciano Dusik. – Porto Alegre: UFRGS, 2018.

243 f.; il.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Porto Alegre, BR-RS,

Orientadora: Lucila Maria Costi Santarosa.

1. Tecnologia Assistiva 2. Comunicação Alternativa 3. Pessoas com Deficiência 4. Síndrome do Encarceramento 5. Interface Cérebro Computador. I. Santarosa, Lucila Maria Costi. II. Título.

CDU 376.22

Cláudio Luciano Dusik

**A INTERAÇÃO ENTRE INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR E SUJEITOS
COM INCAPACIDADE MOTORA GRAVE PARA COMUNICAÇÃO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação.

Aprovada em 26/abr. 2018.

Dr^a. Lucila Maria Costi Santarosa - Orientadora

Dr. Eliseo Berni Reategui - UFRGS

Dr^a. Patrícia Alejandra Behar - UFRGS

Dr. Lourenço de Oliveira Basso - IFSUL

Ao meu Matheus (*in memoriam*), que
Deus me emprestou por um tempo.
Ao meu Lucas Davi, um anjo amado que
me alegra os dias!
Ao Deivid, minha ternura!
À minha mãe, que é minha força, meu
amor, minha vida.

Agradeço a UFRGS e a CAPES pela oportunidade acadêmica; ao PPGEdu, PPGIE, CINTED, NIEE e Programa incluir pela acolhida;

À minha Orientadora Dr^a. Lucila Maria Costi Santarosa, que viu através de mim, por dentro, um sujeito capaz; que acreditou, confiou e me conduziu para concretizar mais esta etapa; agradeço pela paciência, pelo exemplo e pela força demonstrada que podemos e temos que prosseguir mesmo convivendo com a saudade;

Aos meus avaliadores Eliseo Berni Reategui, Patricia Alejandra Behar e Lourenço de Oliveira Basso;

Ao amigo e colega William Pedroso pela parceria, apoio e suporte nos momentos que precisei muito. Seus trabalhos contribuíram no meu retorno;

A cada um dos colegas da SME e Polo UAB Esteio, pelo apoio e incentivo; Um agradecimento especial ao Prefeito Leonardo Pascoal, ao Secretário Marcos Dal'Bó;

Aos amigos que estão mais próximos, o meu carinho: Cíntia, Natcha Priscila, Mônica, Zanza, Elaine, Patrícia, Rita e a todos que convivem e convieram comigo;

Às minhas “noivas” Joelma e Joseangela, pela ternura e divertimentos juntos;

Ao meu irmão Deivid, pelo carinho especial, pelo suporte e ternura; e meu sobrinho Lucas, pela alegria e afeto;

Aos meus amigos irmãos Eliézer e Estevão;

À minha mãe Eliza em especial e maior agradecimento, pelo carinho, dedicação e altruísmo, sem ela eu não seria sujeito, não teria percorrido tanto. Teu amor é o de fundamental em mim;

Ao Deus, por todas estas pessoas, pelo milagre da vida e pela força.

E disse-me: A minha graça te basta, porque o meu poder se aperfeiçoa na fraqueza. De boa vontade, pois, me gloriarei nas minhas fraquezas, para que em mim habite o poder de Cristo. (2 Coríntios 12:9).

RESUMO

Há pessoas que, por doença ou lesões neurológicas, ficam sem conseguir se movimentar ou se comunicar, porém mantêm-se consciente e intelectualmente ativas, ficando presas dentro de si mesmas. Assim, pesquisar e desenvolver recursos de Tecnologia Assistiva, que decodifique sinais cerebrais para a pessoa se comunicar, significa trazê-la de volta à vida. Então, essa pesquisa investigou como uma Interface Cérebro Computador (ICC) pode facilitar a comunicação alternativa de sujeitos com incapacidade motora grave. Para compreender os objetivos propostos deste estudo, optou-se por uma pesquisa qualitativa, tipo estudo de caso. Os participantes foram três sujeitos com diferentes graus de capacidade de comunicação: a) um que possui capacidade plena de escrita e fala, mas que sua participação traz reflexões sobre a ICC sem a interferência de deficiência física; b) outro que possui "grande dificuldade" para escrever sem ajuda técnica, devido a dificuldades motoras; c) outro que "não consegue de forma alguma se comunicar", nem por fala nem por escrita, mesmo com ajudas técnicas convencionais de comunicação alternativa, devido ao estado de Síndrome do Encarceramento. Para coleta de dados realizaram-se encontros com os sujeitos que utilizaram a tecnologia, onde foram colhidas informações sobre o uso desse recurso. Por meio de testes, da análise das entrevistas e da observação direta, avaliou-se a potencialidade da Interface Cérebro Computador na dimensão de favorecer o processo de escrita e comunicação da Pessoa com Deficiência. De uma forma geral, nos aspectos relevantes para este momento da pesquisa, os dados mostram que a ICC MuseKey pode atender a necessidade de escrita dos participantes em suas expectativas, sendo Funcional, Confiável, Usável e Acessível.

Palavras-Chave: Tecnologia Assistiva. Comunicação Alternativa. Pessoas com Deficiência. Síndrome do Encarceramento. Interface Cérebro Computador.

DUSIK, Claudio L. **A interação entre Interface Cérebro Computador e sujeitos com incapacidade motora grave para comunicação.** 2018. 243 fls. Tese de Doutorado em Educação. Núcleo de Informática na Educação Especial. Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

There are people, with disease or neurological lesions, unable to move, or communicate, remaining conscious and intellectually active, becoming trapped within themselves. Thus, the research and develop resources of assistive technology, which decode the brain signals to a person to communicates, means bringing it back to life. So, this research investigated how a Brain Computer interface (BCI) can facilitate written communication of individuals with severe motor impairment. For the proposed objectives of this study, we chose a qualitative research, like case study. Participants were three persons with varying degrees of communication ability: a) with ability to writing and speaking, but that their participation brings reflections to the BCI without an interference of physical disability; b) other who has "great difficulty" to write without technical help, due to motor difficulties; c) Another who "can not be able to communicate", neither by speech nor by writing, even with conventional technical aids of alternative communication, due to the state of Incarceration Syndrome. For data collection was carried encounters with the subjects who used the technology, where information was collected on the use of this resource. Through tests, interviews analysis and direct observation, the potential of the Brain Computer Interface in the dimension of favoring the writing and communication process of the disabled people was evaluated. In general, in the aspects relevant to this moment of the research, the data show that the BCI MuseKey can meet the participants' need for to writing in their expectations, being Functional, Reliable, Usable and Accessible.

Key-words: Assistive Technology. Alternative Communication. Disabled people. Incarceration Syndrome. Brain Computer Interface.

LISTA DE FIGURAS, GRÁFICOS, IMAGENS, QUADROS E TABELAS

FIGURA 01: Interface do Write Mouse.....	32
FIGURA 02: Projeto no Visual Basic	32
FIGURA 03: Interface do Mousekey.....	33
FIGURA 04: Mousekey-UFRGS.....	41
FIGURA 05: Recursos de baixa tecnologia	94
FIGURA 06: Recursos de alta tecnologia	94
FIGURA 07: Recursos de Hardware	95
FIGURA 08: Recursos de Software.....	95
FIGURA 09: Mapa conceitual do Capítulo 3.....	96
FIGURA 10: Sistema Nervoso Central (SNC) ou Neuroeixo	97
FIGURA 11: Imagem em corte da medula espinhal	98
FIGURA 12: Divisão do tronco encefálico	98
FIGURA 13: O cérebro.....	100
FIGURA 14: Lobos cerebrais	101
FIGURA 15: Lobos cerebrais e suas funções.....	101
FIGURA 16: Eletricidade cerebral (SNC) e ruído elétrico (SNP)	105
FIGURA 17: Frequência, oscilação e amplitude de ondas elétricas	106
FIGURA 18: Diferença de fase de sinais.....	106
FIGURA 19: Estados cerebrais de sono e vigília.....	107
FIGURA 20: Ondas cerebrais e estados de consciência.....	108
FIGURA 21: Campo elétrico (dipolo).....	111
FIGURA 22: Campos elétricos (dipolo)	112
FIGURA 23: Padrões de ondas anormais	113
FIGURA 24: Eletrodos em arranjo.....	114
FIGURA 25: Gradações de cor da atividade cerebral.....	114
FIGURA 26: Mapas em ocasiões distintas	115
FIGURA 27: NIA™ - Neural Impulse Actuator	127
FIGURA 28: BCI2000.....	129
FIGURA 29: OpenBCI conectado ao Arduino	130
FIGURA 30: Emotiv® Epoc.....	131
FIGURA 31: Emotiv® Insight.....	132

FIGURA 32: NeuroSky® MindSet	133
FIGURA 33: Muse™ Interaxon	134
FIGURA 34: IMEC and Holst Centre	134
FIGURA 35: Qualidade de Software. Usabilidade	147
FIGURA 36 Design da Pesquisa	156
FIGURA 37: Sistema da ICC.....	172
FIGURA 38: Localização 10-20 dos sensores Muse™ Interaxon	174
FIGURA 39: Detalhamento do Muse™ Interaxon.....	174
FIGURA 40: MuseLab.....	175
FIGURA 41: Dividindo o sinal.....	175
FIGURA 42: Remoção de ruído.	176
FIGURA 43: Fourier Transform.	176
FIGURA 44: Fourier Transform.	177
FIGURA 45: Aplicativos para Muse™ Interaxon.....	181
FIGURA 46: Instrução de porta serial virtual	182
FIGURA 47: Fase inicial da ICC MuseKey no NetBeans.....	184
FIGURA 48: ICC MuseKey com opções de configurações abertas.....	185
FIGURA 49: ICC MuseKey com opções de configurações fechadas	186
FIGURA 50: ICC MuseKey interagindo com Teclado Virtual do Windows.....	186
FIGURA 51: Utilizando o Teclado MuseKey.....	187
FIGURA 52: Opções de Configurações do Teclado MuseKey	187
FIGURA 53: Grupo de sílabas do Teclado MuseKey	190
FIGURA 54: Grupo de vogais acentuadas do Teclado MuseKey	190
FIGURA 55: Grupo de sílabas minúsculas do Teclado MuseKey.....	191
FIGURA 56: Grupo de sílabas maiúsculas/minúsculas do Teclado MuseKey	191
FIGURA 57: Grupo de números e caracteres especiais do Teclado MuseKey.....	191
FIGURA 58: Grupo de teclas de funções no Teclado MuseKey	192
FIGURA 59: Grupo de pontuações do Teclado MuseKey	192
FIGURA 60: Grupo de predição de palavras do Teclado MuseKey.....	192
FIGURA 61: Grupo de varredura do Teclado MuseKey em destaque	193
FIGURA 62: Detalhamento do Muse™ Interaxon.....	195
FIGURA 63: Tobii Eyetracking	196
FIGURA 64: Quadro de Letras de M.	197
FIGURA 65: Cânula para Traqueostomia.....	199

FIGURA 66: Grupo de letras no modo Rastrear Teclas	201
FIGURA 67: Instruções de evitar falhas no MuseKey.....	208
FIGURA 68: Tolerância a falhas no MuseKey	209
GRÁFICO 1: Evolução da política de inclusão	54
GRÁFICO 2: Porcentagem de Requisitos de Softwares por categoria	169
GRÁFICO 3: Tecnologia Assistiva para Digitação do Sujeito 2	203
GRÁFICO 4: Fatores Externos quanto à potencialidade da ICC	214
GRÁFICO 5: Análise funcional do MuseKey	217
IMAGEM 1: Condução da Tocha Olímpica.....	45
IMAGEM 2: Sujeito 2 fazendo uso da ICC MuseKey.....	199
IMAGEM 3: Postagem em redes sociais	200
IMAGEM 4: Postagem em redes sociais	201
QUADRO 1: Condutas de diferentes povos frente à pessoa com deficiência.....	58
QUADRO 2: Marcos Legais de políticas de inclusão em combate à exclusão.	61
QUADRO 3: Sujeitos da Pesquisa	158
QUADRO 4: Roteiro de atividades com participantes da pesquisa	161
QUADRO 5: Instruções para criar a ICC inicial	185
QUADRO 6: Variações da tecla Shift do Teclado MuseKey	190
QUADRO 7: Expectativas sobre a ICC MuseKey.....	216
TABELA 01: População residente, por tipo de deficiência motora.....	53
TABELA 02 - Matrículas de alunos com deficiência em 2011	54
TABELA 03: Períodos de governo em favor ao aluno com deficiência.....	65
TABELA 04: Capacidade Motora para Comunicação.....	82
TABELA 05: Capacidade Mental para Comunicação	83
TABELA 06: Resumo do conceito de TA.....	85
TABELA 07: Atributos de qualidade em uso	147
TABELA 08: Objetivos deste estudo	151
TABELA 09: Indicadores da potencialidade da ICC MuseKey.....	161
TABELA 10: Procedimentos Da Pesquisa.....	162
TABELA 11: Aplicações da ICC	164
TABELA 12: Características Ao Usuário Final.....	165
TABELA 13: Processo de Desenvolvimento	166
TABELA 14: Fatores Internos	167
TABELA 15: Fatores Externos	168

TABELA 16: Seleção de dispositivos - Etapa 1	170
TABELA 17: Seleção de dispositivos - Etapa 2.....	171
TABELA 18: Especificações técnicas - Muse™ Interaxon.....	172
TABELA 19: Requisitos de Software para o MuseKey	188
TABELA 20: Estratégias de design de software e ergonomia	189
TABELA 21: Quantidade de Toques (Piscar)	202
TABELA 22: Avaliação funcional do MuseKey	207
TABELA 23: Análise do Princípio Perceptível	212
TABELA 24: Análise do Princípio Operável.....	212
TABELA 25: Análise do Princípio Compreensível	213
TABELA 26: Análise do Princípio Robusto.....	213

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEE	-	Atendimento Educacional Especializado
API	-	Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicativos)
AVC	-	Acidente Vascular Cerebral
BCI	-	Brain Computer Interface
BMI	-	Brain-Machine Interfaces
CAA	-	Comunicação Aumentativa ou Alternativa
CAT	-	Comitê de Ajudas Técnicas
CHA	-	Conhecimentos, Habilidades e Atitudes
CSA	-	Comunicação Suplementar ou Ampliada
CID	-	Classificação Internacional de Doenças
CIF	-	Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
DSP	-	Processadores de Sinal Digital
ECoG	-	Eletrocorticografia
EEG	-	Eletroencefalograma
EOG	-	Eletrooculograma
FE	-	Fatores Externos
FI	-	Fatores Internos
FNDE	-	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
HZ	-	Hertz
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICC	-	Interface Cérebro Computador
ICM	-	Interface Cérebro Máquina
IINN	-	Instituto Internacional de Neurociências de Natal
ISO	-	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
LTME	-	Lesão Traumática da Medula Espinhal
MEC	-	Ministério da Educação
NBR	-	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NEE	-	Necessidades Educacionais Especiais

OMS	-	Organização Mundial da Saúde
PCD	-	Pessoas com Deficiência
PD	-	Processo de Desenvolvimento
PWD	-	Persons With Disabilities
SdE	-	Síndrome do Encarceramento
SDK	-	Software Development Kit (Kit de Desenvolvimento de Software)
SEC	-	Silêncio Elétrico Cerebral
SNC	-	Sistema Nervoso Central
SNP	-	Sistema Nervoso Periférico
TA	-	Tecnologia Assistiva
TIC	-	Tecnologia da Informação e Comunicação
TIE	-	Tomografia por Impedância Elétrica
UF	-	Usuário Final
UKF	-	Unscented Kalman Filter
W3C	-	World Wide Web Consortium
WCAG	-	Web Content Accessibility Guidelines

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO - <i>Acredito, por isso existo</i>	20
1 INTRODUÇÃO - <i>Almejo, e nisso existo</i>	48
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	49
1.2 PROBLEMÁTICA E OBJETIVOS DE PESQUISA	56
2 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA E TECNOLOGIA ASSISTIVA - <i>Participo, e mostro que existo</i>	58
2.1 MARCOS LEGAIS EM BUSCA DE UMA NOVA SOCIEDADE.....	61
2.2 O PARADIGMA DA EDUCAÇÃO INCLUSIVA	64
2.3 O PARADIGMA DA SOCIEDADE INCLUSIVA	68
2.4 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA.....	76
2.4.1 Capacidade Motora para Comunicação	82
2.4.2 Capacidade Mental para Comunicação	83
2.5 TECNOLOGIA ASSISTIVA DE COMUNICAÇÃO AUMENTATIVA E ALTERNATIVA	84
2.5.1 Produtos e Tecnologias para a Comunicação.....	94
3 INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR - <i>Penso, logo existo</i>	96
3.1 SISTEMA NERVOSO CENTRAL - SNC	97
3.1.1 Cérebro e estruturas cerebrais.....	99
3.1.2 Efeitos de doenças e lesões	102
3.1.3 Efeitos de estímulos e exercícios.....	103
3.2 ONDAS CEREBRAIS, ELETRÔNICA E ICC.....	104
3.2.1 Tipos de Ondas Cerebrais	107
3.2.2 Dispositivos eletrônicos para Neurofeedback.....	109
3.2.2.1 Eletroencefalografia (EEG)	111
3.2.2.2 Topografia Cerebral de EEG.....	113
3.2.2.3 Eletrocorticografia (ECoG).....	115
3.2.2.4 Tomografia por Impedância Elétrica (TIE).....	115
3.3 TÉCNICAS E SENSORES UTILIZADOS NAS ICC	117
3.3.1 Métodos Invasivos	119
3.3.2 Métodos Parcialmente Invasivos.....	119

3.3.3 Métodos Não Invasivos.....	120
3.4 EXPERIMENTOS COM INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR	121
3.5 DISPOSITIVOS DE ICC PORTÁTEIS.....	127
3.5.1 Neural Impulse Actuator - NIA™	127
3.5.2 BCI2000.....	128
3.5.3 OpenEEG	129
3.5.4 OpenBCI.....	129
3.5.5 Emotiv® Epoc.....	131
3.5.6 Emotiv® Insight.....	131
3.5.7 NeuroSky® MindSet Mindwave.....	132
3.5.8 Muse™ Interaxon.....	133
3.5.9 IMEC and Holst Centre	134
3.6 SISTEMA DE SOFTWARE VOLTADO PARA A ICC	135
3.6.1 Características necessárias do Usuário Final	136
3.6.2 Requisitos de Software	137
3.6.2.1 Fatores Internos.....	139
3.6.2.2 Fatores Externos	140
3.6.2.3 Ergonomia	143
3.6.3 Construção e Verificação	145
3.6.4 Qualidade de Software	146
4 PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO E OBJETIVOS - <i>Questiono, e ressignifico</i>	
<i>que existo</i>	150
4.1 PROBLEMA DE PESQUISA	150
4.2 OBJETIVO GERAL	150
4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	150
5 MÉTODO DA PESQUISA - <i>Busco, enquanto existo</i>	152
5.1 CARACTERIZAÇÃO E TIPO DO ESTUDO.....	152
5.2 GRUPO DE SUJEITOS: CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES	157
5.2.1 Sujeito 1: Porthos	158
5.2.2 Sujeito 2: Aramis.....	159
5.2.3 Sujeito 3: Athos.....	159
5.3 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA.....	160

5.3.1 Instrumentos para Coleta de Dados.....	162
5.3.2 Procedimento de Análise de Dados.....	163
6 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS - <i>Emito, e comprovo</i>	
<i>que existo</i>	164
6.1 DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS E APLICADOS.....	164
6.1.1 Quanto ao Usuário Final	165
6.1.2 Quanto ao Processo de Desenvolvimento	166
6.1.3 Quanto aos Fatores Internos da Qualidade do Software.....	166
6.1.4 Quanto aos Fatores Externos da Qualidade do Software	168
6.2 DA SELEÇÃO DO DISPOSITIVO DE ICC: MUSE™ INTERAXON	169
6.2.1 Características Técnicas do Muse™ Interaxon	171
6.2.1.1 Sensores	173
6.2.1.2 Transformações dos dados analógicos em digitais.....	174
6.2.1.3 Interação do sistema	178
6.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO: O MUSEKEY	181
6.3.1 Especificações do Desenvolvimento.....	182
6.3.2 Requisitos de Software	188
6.3.3 Design de Software e Ergonomia.....	189
6.3.4 Construção e Verificação (Testes).....	189
6.4 CATEGORIA 1: AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO USUÁRIO	193
6.4.1 Sujeito 1: Porthos	194
6.4.2 Sujeito 2: Aramis.....	197
6.4.3 Sujeito 3: Athos.....	203
6.5 CATEGORIA 2: AVALIAÇÃO FUNCIONAL DA FERRAMENTA	207
6.5.1 Funcionalidade	207
6.5.2 Confiabilidade	208
6.5.3 Usabilidade.....	209
6.5.4 Eficiência	210
6.5.5 Manutencibilidade.....	210
6.5.6 Portabilidade.....	211
6.5.7 Acessibilidade.....	212
6.6 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO USUÁRIO E FUNCIONAL DA FERRAMENTA: a interação entre ICC e sujeitos.....	213

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS - <i>Comunico, logo digo que existo</i>	219
REFERÊNCIAS	228
ANEXOS	239
Anexo I - Consentimento Informado para o Estudo.	240
Anexo II - Entrevista semidirigida (Modelo)	241
Anexo III - Protocolo de verificação de Ergonomia.....	242

APRESENTAÇÃO - *Acredito, por isso existo*

Acredite, é hora de vencer, essa força vem de dentro de você.
Você pode até tocar o céu se crer!
Acredite que nenhum de nós já nasceu com jeito para super-herói, nossos sonhos a gente é quem constrói.
É vencendo os limites, escalando as fortalezas, conquistando o impossível pela fé. Campeão, vencedor, Deus dá asas, faz teu voo.
(Composição: Beno Cesar / Solange César)

Esta pesquisa apresenta-se como uma etapa que aprofunda as reflexões da Dissertação de Mestrado intitulada "*Teclado Virtual Silábico-Alfabético: Tecnologia Assistiva para Pessoas com Deficiência Física*", defendida por mim no Programa de Pós-Graduação em Educação, da Faculdade de Educação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em março de 2013. Na referida dissertação desenvolveu-se um teclado virtual denominado Mousekey, e demonstrou como essa Tecnologia Assistiva (TA) pôde favorecer a escrita de pessoas com dificuldades motoras. As considerações da dissertação convidaram para a reflexão do potencial humano, da força da vida em seus anseios e aspirações, e do quão provisório e imprevisível pode ser o termo impossível.

O presente estudo não se trata de continuidade da TA anterior, mas de reflexões mais complexas sobre o mesmo assunto, isto é, sobre possibilidades. Como metáfora, poderia se dizer que, para aumentar a profundidade de um poço, não se abre um novo buraco, mas cava-se mais o existente. Da mesma forma, para aprofundar uma forma de pensar e interpretar as questões que permeiam a vida, não se inicia um processo novo, mas adentra-se ao existente, com mais ideias e mais estudos. Assim, grande parte textual desta pesquisa repete-se e remete-se ao trabalho anterior.

Para apresentar esta Tese é importante, então, relatar o início desta proposição, que surge de uma caminhada, de uma trajetória de vida, de minha vida. Apresento, então, uma breve narrativa autobiográfica para, através dela, trazer um exemplo vivido de que soluções de Tecnologia Assistiva (TA) podem beneficiar a inclusão social de uma Pessoa com Deficiência (PCD). Mas acima disso, na verdade, aclarar como a inclusão social pode construir a própria pessoa, na medida em que ela se inclui. Como dizia Vygotsky (1998), essa construção social é dialética, no sentido que o meio influencia o indivíduo, provocando mudanças nele, e que essas mudanças nele serão refletidas novamente no meio, recomeçando o processo

como se fosse uma espiral ascendente.

Assim, sendo eu o desenvolvedor de um aplicativo próprio, que redirecionou minha trajetória laboral, tenho como objetivo no presente texto aprofundar aspectos teórico-práticos vividos, no enfrentamento de situações concretas, originadas na construção de minha inclusão social e digital.

Sou o segundo filho entre seis. Tenho quatro irmãos e uma irmã. Com poucos meses de idade meus pais perceberam um pouco de fraqueza em mim e dificuldades para engatinhar. No entanto, o médico referiu não haver nada de anormal e que eles estavam ansiosos. Com quase um ano de idade levaram-me novamente ao neurologista e, após muitos exames e estudos médicos, descobriram que eu possuía Amiotrofia Espinhal Muscular Infantil Tipo I. Trata-se de uma síndrome rara chamada Werdnig Hoffmann, que é uma doença do neurônio motor, antigamente apelidada de "boneco de pano" ou "boneco de trapo", pela semelhança da mobilidade (moleza) corporal, precisando de apoios para sentar e firmar a cabeça. Essa síndrome implica em terminalidade de vida por apresentar degeneração óssea, atrofia e degeneração muscular, acarretando com isso deformidade física, perda progressiva de movimentos e problemas cardiorrespiratórios. Além desses sintomas, estão incluídos dificuldades de deglutição e sucção. A expectativa de vida para crianças com essa doença se limita aos sete anos de idade e, em raros casos, chegam aos quatorze anos. Na época em que fui diagnosticado, não eram encontrados na literatura médica casos acima desta idade.

Esperançosos ou desesperados, meus pais investiram na busca de recursos médicos em várias localidades do RS e SP, encontrando sempre as mesmas respostas e explicações. Seguidamente fui submetido a diversos exames médicos, sendo muitos deles dolorosos. Não conseguindo respostas na ciência, partiram para uma "peregrinação" religiosa, visitando todo tipo de crença que desse esperanças. Aos quatro anos, com o nascimento de minha irmã (com a mesma síndrome), as peregrinações diminuíram.

Desde o início sempre fui informado sobre minha doença, no que ela implicava e no por que de cada procedimento (tanto médico como religioso). Acredito que isso me conferiu recursos para reconhecer meus limites, minhas possibilidades e dar-me a chance de fazer escolhas para aceitar (conformar) ou buscar meios de superação e de qualidade de vida. Exemplo disso foi que, com

cinco anos de idade, me foi dada à escolha entre frequentar ou não a escola, sendo sempre claro meu limite de tempo de vida e perdas motoras progressivas, mas também tendo claras as possibilidades de fazer amigos e de me integrar socialmente. Aprendi a lidar com fatores bons e ruins e suas implicações.

A expectativa inicial de minha mãe em colocar-me na escola era minha socialização, e não necessariamente o domínio dos conteúdos escolares ou avanço de série. Como, a princípio, eu teria apenas sete anos de vida, eu precisava ter os melhores sete anos a que poderiam me propiciar, e a escola contribuiria no sentido de eu conhecer outras crianças e novas brincadeiras, mas não esperavam necessariamente da escola uma preparação para um futuro acadêmico e profissional, era o que enfatizavam meus pais.

Porém, mesmo tendo plenas capacidades cognitivas e de comunicação, e na época ainda de escrita manual, encontrei dificuldades de disponibilidade de inclusão escolar. As escolas de ensino regular - tanto públicas como privadas - negaram minha matrícula dizendo não estarem preparadas para receber alunos com minha dificuldade. E indicavam que, no meu caso, eu deveria ser matriculado em escola de educação especial. Minha mãe, inconformada com isso, porque seu objetivo estava na minha socialização, no brincar e me divertir, relutava em me matricular na escola com outras crianças na mesma condição. Em seu pensamento, colocar-me com crianças que também tivessem dificuldades de brincar e de socializar, inviabilizaria esse processo, sendo mais fácil se eu convivesse com crianças sem estas dificuldades.

Minha dizia:

se o Claudinho não consegue brincar sem ajuda, e eu colocá-lo com crianças que também não conseguem brincar, sua experiência ficará igualmente limitada; mas se eu colocá-lo com crianças que conseguem brincar, elas brincarão com ele e sua experiência será maior (*sic*).

Mesmo assim, por falta de opção, visitamos tais escolas de educação especial em busca de uma vaga. No entanto, a escola da região destinava-se a crianças com outras características, em geral crianças com deficiência intelectual. Como não era meu caso, não fui aceito. Dessa forma, vivenciei tanto a exclusão do sistema comum de ensino, como também do sistema de ensino especial.

Não havendo, na legislação, dispositivos que garantissem meu direito de matrícula, antes de desistir da busca de escola, como alternativa minha mãe buscou

me matricular em uma escola confessional privada, recorrendo aos valores cristãos que a instituição seguia. Desta vez, por causa desses valores, o diretor foi atento e realizou alguns testes de leitura e escrita comigo, aceitando minha matrícula por um período de teste. No entanto, como tal experiência era em torno do acompanhamento dos conteúdos curriculares, e não do brincar desejado por minha mãe, fui colocado na primeira série e não na pré-escola, mesmo com apenas cinco anos de idade.

Dizia o diretor que se eu fosse capaz de aprender e acompanhar a turma, então minha matrícula seria efetivada. Caso contrário eu não poderia permanecer na escola. Diante disso, de um lado havia a expectativa da escola de que eu aprendesse, e no ritmo igual ao das demais crianças e, de outro lado, havia a expectativa da família de que eu brincasse e me socializasse.

Na primeira série os objetivos principais dos meus pais não foram priorizados, pois a minha situação era muito nova para os professores. Além de minha sala ser no segundo andar de um prédio sem elevador, ficava limitado e impossibilitado de ir ao pátio da escola. Os docentes acreditavam ser melhor eu ficar sentado na frente de todos, bem próximo à professora, mas com isso eu ficava de costas para os colegas e, devido minha incapacidade de virar para trás, eu enxergava apenas o quadro. Eu sabia que havia várias crianças atrás de mim, pois ouvia suas falas, seus barulhos e sentia seus movimentos, mas não via seus rostos nem suas aparências. Nos intervalos e nos períodos de educação física eu ficava sozinho na sala aguardando o retorno de todos.

Como o objetivo da escola era a alfabetização, recebi a certificação do conhecimento já no segundo bimestre. O diretor, ao terminar o período de experiência que havia designado, mostrando-se muito feliz, teria dito para minha mãe:

Dona Eliza! Nós imaginávamos que o Claudinho não conseguiria aprender e nem acompanhar a turma, mas para nossa surpresa, a turma não o acompanhou! Olha aqui Dona Eliza (*mostrou meus trabalhos e provas*), o Claudinho já sabe ler e escrever sem erros ortográficos.

Entregando meu certificado disse a ela: *"Viu! A senhora nem precisa mais trazê-lo!"*

Mas para minha mãe essa competência não era novidade, e nem suficiente. Não adiantava, para ela, eu conhecer todas as letras e números e não conhecer

meus colegas. Não adiantava eu saber formar palavras, frases e textos e não ter aprendido a formar amizades. Então, mantendo a paciência, minha mãe cobrou isso da escola e cobrou a promessa de que se eu aprendesse minha matrícula seria efetivada. Então fui devidamente matriculado e frequentei de forma esporádica as aulas até ao final do ano. Minha mãe não deixou de me levar completamente para aula, mesmo já aprovado, porque em seu pensamento seria minha presença que provocaria mudanças na escola, e não minha ausência.

Na segunda série a sala era térrea, mas tinha um degrau de acesso tão alto que até meus colegas sem deficiências tinham dificuldade de subi-lo. Ficava inviável para eu ir ao pátio com auxílio só dos colegas. Em situação normal sempre precisava de dois adultos para subir e descer o degrau. Mas, ao menos nesse ano (1984), eu podia ser colocado próximo a porta e observar as crianças brincarem no pátio. Quando eu as via, era como se eu mesmo estivesse brincando. Lembro que eu ficava eufórico quando as via correndo, jogando, brincando. No meu imaginário era como se eu estivesse vivenciando concretamente a experiência. Eu tinha prazer de ir para a escola por causa daqueles quinze minutos que ficava na porta observando. Quando adoecia, por frequentes problemas respiratórios, a professora me enviava as tarefas para estudos domiciliares.

Lembro-me de um episódio em que terminou o intervalo e, na porta, vi o pátio se esvaziar sem minha turma retornar. Fiquei muito assustado e comecei a chorar e gritar por ajuda. Eu estava acostumado a ficar sozinho na sala, aguardando a turma voltar, mas ver o pátio vazio foi uma situação nova, pois imaginei que não estava sozinho apenas na sala, mas na escola inteira. Depois de certo tempo, um garoto muito pequeno passou por perto e escutou meus choros e chamados. Com dificuldade subiu aquele degrau alto de minha sala, viu que não conseguiria me descer sozinho e, então, começou também a chorar. Estavam duas crianças chorando a beira daquele degrau que na nossa percepção parecia um precipício. Levando mais um tempo apareceu a professora do garoto, que o procurava preocupada. Viu que eu estava assustado, e que seu aluno tentara me ajudar, então procurou minha professora e a encontrou na pracinha com a turma, pois era o período de educação física e eu teria esquecido que demorariam. No entanto, vendo que o menino tentou me ajudar, sua atitude provocou uma cooperação entre nossas professoras. A professora do menino se prontificou a ficar comigo em sua sala nos períodos em que minha turma fosse para a educação física, pois seria dificultoso me

levarem para a pracinha pela falta de acessibilidade. Então, as duas professoras me desceram o degrau e me conduziram até a sala com o garoto. Nessa sala eu me maravilhei, pois fui colocado diante de uma mesa redonda ao lado de outras crianças. Nessa turma, as crianças ficavam em pequenos grupos em torno de mesas circulares, sendo muito diferente da minha turma, em que todos ficavam enfileirados. Ali eu não estava de costas, mas estávamos de frente uns para os outros, podendo trocar conversas, materiais e cores. Era uma turma de educação infantil, uma sala cheia de brinquedos e interações, nas quais as crianças não me estranhavam. Eu sempre aguardava ansioso que minha turma fosse para a pracinha e eu levado para essa sala. Ao mesmo tempo, esperava essa interação na minha própria turma.

Somente na terceira série que as coisas mudaram. A entrada da sala não havia degraus e eu facilmente poderia ser levado ao pátio. Um seminarista, estagiário de magistério, assumiu nossa turma e este me incluía nos grupos, criando um mural chamado "Ajudante do Dia". A primeira atitude do professor, ao entrar na sala, era a de colocar nesse mural o nome do colega¹ que seria meu ajudante naquela tarde, que teria a tarefa de me auxiliar no manuseio de materiais e me conduzir ao pátio no intervalo. Ao fazer isso, ao invés de convidar a criança a sentar-se ao meu lado, ele me colocava ao lado dela, assim, eu ficava em diferentes lugares da sala, não mais só na frente. Cada dia era um colega diferente e, com isso, comprometia toda a turma a me auxiliar. Com isso eu conheci cada um de meus colegas e estes me conheceram.

No intervalo o professor não me deixava na sala sozinho e nem ia para a sala dos professores, mas com o ajudante me levava ao pátio para brincar. Divertia-me muito, dessa vez participando realmente, não apenas no imaginário. Quando o ajudante me colocava próximo a uma brincadeira, o professor instigava as crianças a encontrarem formas de que eu participasse, adaptando-a. Por exemplo, eu assistia os colegas brincando de Pula-corda e o professor perguntava a todos: "*Gente, como o Claudinho pode brincar disso?*". Todos paravam, pensavam e sempre surgiam ideias: "*Já sei Sôr, a gente trilha a corda e o ajudante passa correndo com ele!*". Assim, após o ajudante passar comigo por baixo da corda, outros colegas também queriam me levar, inclusive os de outras turmas.

Na brincadeira de Amarelinha sugeriram eu jogar a pedrinha em algum

¹ Quando refiro colega ou ajudante, trata-se tanto de meninos como de meninas.

número e passarem comigo, em minha cadeira de rodas, desviando pelos outros números. No futebol oras houve sugestões de eu apitar o jogo, sendo o juiz, oras de ser ajudante de goleiro. Certa vez, uma menina sugeriu: "*Sôr, hoje o Claudinho ficará nos pênaltis!*". "*Mas como ele chutará a bola?*", perguntou o professor. Então, puxando um cordão de sua mochila lhe respondeu: "*Assim: a gente amarra o cordão no tênis dele, alguém joga a bola em seu pé, e eu puxo o cordão para ele chutar*". Quando ela puxou a corda e eu chutei a bola, me senti o próprio Renato Portaluppi goleando o Mazarópi².

Mas entre todas as brincadeiras, a que eu mais gostava era a de Pega-pega: algum colega me empurrava correndo atrás dos outros e eu ficava todo agitado e feliz. Entremedio à diversão, algumas vezes ocorreu de trancar a cadeira de rodas nos desníveis do pátio e eu cair. Eu ficava todo esparramado no chão sem saber se dava risadas ou se chorava. As risadas pela aventura, pela adrenalina solta, mas o choro pelo susto e por ver todos assustados ao meu redor. Eu esta no auge da vida! Conheci a vida como ela é: com suas aventuras e desventuras, com seus obstáculos e seus acessos, com alegrias e tristezas. Muito além de conteúdos escolares, que ao longo da vida esquecemos, a escola me ensinou algo inesquecível: o desejo de vida!

No entanto, nesta época, com sete anos, a idade limite definida pela medicina clássica, fiquei muito debilitado. As profecias médicas pareciam se cumprir e eu perdia movimentos, meu corpo se deformava atrofiando e encurvando, aumentando minha dificuldade de me acomodar e permanecer sentado. Mas eu não queria parar de estudar, gostava de ir para escola, pois o professor era atencioso e me disponibilizava novas adaptações.

Porém o limite chegou, precisei me despedir da turma, pois com a deformidade de minha caixa torácica as costelas perfuravam alguns órgãos, necessitando hospitalização. Lembro-me da dor que era intensa e dos medicamentos que já não faziam mais efeito. Com momentos contados de vida eu recebia visitas de amigos, vizinhos e familiares.

Mas existem coisas que não se explicam pela Ciência e pela racionalidade. Há algo que existe entre o céu e a terra e que a ciência desconhece. Se eu não tivesse vivenciado não acreditaria. Uma mulher que era conhecida de minha mãe foi

² Jogadores do Grêmio em 1985. Em 2015/2016, o ex-goleiro Mazarópi torna-se meu colega de trabalho na Secretaria Municipal de Educação e Esportes.

me visitar e disse que Jesus me curaria, pois Ele teria um propósito para minha vida, e pediu para orar. Meu pai se revoltou e impediu que a mulher orasse por mim. Mas minha mãe esperou que ele saísse e em desespero me levou até ela. Ela colocou suas mãos sobre minha cabeça e orou. Lembro-me do alívio da dor e dos estalos nos locais das dores. Fazia três meses que não conseguia mais sentar. Logo depois pedi para sentar, estava com fome e pedi para comer. Após alguns dias pedi para retornar para escola, os colegas me receberam com alegria e surpresa. Uma colega, surpresa e sensibilizada exclamou: "*professor, ele voltou do céu?!*".

Como o professor envolvia os alunos comigo, inclusive de outras turmas, mesmo sem sua presença nas séries seguintes os colegas, e já amigos, continuavam interagindo comigo, me auxiliavam e me levavam ao pátio. Isso se tornou comum na escola, não havendo necessidade dos professores solicitarem aos colegas que o fizessem.

Mesmo sem as preconizações da atual política de educação inclusiva, as coisas foram se desenrolando e minha presença se tornou algo natural na escola. Eu conheci a escola e a escola me conheceu. Naquela época, eu não era um cidadão de direitos, mas um menino de sorte, e muita sorte! Pois enquanto eu estava na escola, aprendendo, brincando e me socializando, incontáveis outras crianças iguais a mim estavam sendo excluídas ou segregadas em ambientes que não as desenvolviam. Então, por mais que hoje haja queixas da precariedade das condições das escolas comuns em receber alunos com necessidades especiais³, já há um enorme avanço em existir a política de educação inclusiva, pois todos têm a oportunidade de estarem na escola.

Na sétima série, após concorrer com duas outras chapas, fui presidente do Grêmio Estudantil, fato este que evidenciou o sucesso de minha socialização, pois não tinha apenas a amizade, mas também a confiança e a credibilidade dos colegas.

No ensino médio (1992) fui aceito na rede pública de ensino, visto que já havia leis que me amparassem. Da mesma forma, recebi a atenção necessária para minha inclusão e adaptações. No primeiro dia de aula eu não pude acessar a sala

³ Os movimentos sociais das pessoas com deficiência recomenda não usar o termo "especial" para se referir a elas, pois foi usado durante muito tempo como um eufemismo para compensar a deficiência (por exemplo, "Ele é especial!", fora do comum; fora de série; ótimo, excelente). Mas o termo no campo educacional e da saúde, e nesta pesquisa, é usado para se referir às necessidades, sejam elas educacionais ou laborais, e não para se referir às pessoas. Além disso, seu significado não remete ao superior ou ótimo, mas ao específico, ao peculiar, ao particular. Então, por vezes serão usados os termos "necessidades especiais" ou "necessidades específicas".

por essa se localizar no segundo andar, gerando dificuldades de acesso. Porém, os próprios alunos, alguns que estudaram comigo na escola anterior, se envolveram na troca de sala de aula. Realizaram a troca de uma turma que estava em uma sala térrea para o segundo andar, e minha turma desceu para o andar térreo. Mesmo a sala sendo térrea, havia um degrau no corredor de acesso e, mostrando-se constrangida, a diretora disse-me que não me preocupasse, pois já havia solicitado uma rampa à Corregedoria de Educação. Até eu terminar o ensino médio e sair da escola a rampa não veio, mas não faltou auxílio dos colegas e não foi impeditivo de me deslocarem por todos os espaços. Quando há falta de acessibilidade arquitetônica e não houver falta de colaboração e boa vontade com o outro, a inclusão mesmo assim acontece; mas o contrário não é verdadeiro, isto é, quando há acessibilidade arquitetônica e não houver colaboração e boa vontade, a acessibilidade não é suficiente para a inclusão. O envolvimento desses colegas contagiou os demais de forma natural e, em pouco tempo, já recebia a colaboração e a amizade de todos. Nisto se visualiza que aquele projeto, "Ajudante do Dia", não apenas resultou na construção de uma escola inclusiva, mas também de uma sociedade inclusiva, pois o resultado se estendeu ao longo dos anos e me acompanhou nessa nova escola.

Nos meses finais do ensino médio, fomos instigados a pensar e escolher uma profissão, a refletir o que faríamos de nossas vidas ao concluir essa etapa. Foi um momento em que eu poderia chamar de "crise de identidade", pois até então eu não havia construído em mim a imagem de pessoa adulta, eu não possuía essa ideia. Ao longo da minha vida, caso alguém me perguntasse o que eu desejaria ser quando crescesse, muito provavelmente eu responderia que seria anjo. Então, nesse momento escolar, me deparei com uma revisão de vida: percebi que eu havia ultrapassado a idade prevista, e que eu tinha uma vida como a de qualquer outra pessoa, isto é, sem garantia de tempo; percebi que o amor e suporte familiar além de muito importante foi imprescindível; percebi que o desejo vida aprendido foi meu melhor tratamento; percebi que a medicina é tão incompleta como qualquer outro conhecimento; percebi que a fé existe mesmo que não se explique pela ciência; e, por fim, percebi que eu poderia alcançar qualquer coisa se eu acreditar.

Diante dessas percepções decidi meu caminho: eu iria cursar uma universidade e ser médico, mas não da Medicina, não seria médico do corpo, mas da alma, das emoções, do pensamento. Eu desejava ser psicólogo. No entanto, no

que se refere ao curso superior, minha família inicialmente não acreditava que eu poderia cursá-lo e também não tinha condições financeiras para me dar suporte, contudo, fui teimoso em todas "realidades" e dificuldades apontadas. Fiz o vestibular e pelas avaliações da universidade me foi concedida uma bolsa de estudos. O transporte "escolar" me foi oportunizado pela administração pública municipal. Na universidade não havia nenhuma adaptação em relação ao espaço físico, mas conforme eu ia solicitando a adaptação era providenciada. Construíram-se rampas, elevadores, adaptou-se uma classe e entre outras adaptações.

O curso superior foi que me fortaleceu em nível pessoal/emocional para buscar ainda mais a integração social. Enquanto cursava a graduação em psicologia, começou minha necessidade de autonomia de deslocamento, tanto por causa do curso quanto dos estágios. Até então, eu sempre fui conduzido por outras pessoas, pois nunca tive força muscular de me empurrar sozinho na cadeira de rodas. Mas essa autonomia ainda estava longe da minha realidade e conhecimento de como adquiri-la. Lembro que eu fui à ortopedia comprar uma cadeira nova, mas uma cadeira comum ainda. Quando chegamos, fomos conduzidos ao depósito, pois lá se encontrava uma variedade de opções. De repente, vi ao fundo uma cadeira de rodas motorizada. Pedi para sentar nela, mas sem grandes esperanças de conseguir conduzi-la. Como tenho escoliose (curvatura da minha coluna), tudo precisava ficar a minha esquerda para que eu tivesse alcance. Aquele dia eu tive muita sorte, pois o joystick da cadeira estava afixado justamente na sua canhoto. Enquanto minha mãe e o vendedor escolhiam a cadeira mais apropriada para mim, eu nem dava atenção a eles. Eu estava fascinado com a cadeira que eu estava sentado. Vi o botão *on/off* e tentei apertá-lo, mas não tive forças. Então coloquei meu dedo da mão esquerda em cima do botão e, com a mão direita, dei um tapa. O *Led* acendeu! Meu coração ficou disparado e minha mãe e o vendedor nem perceberam, continuaram olhando as outras cadeiras e conversando. Fiquei pensando se acionava ou não. O joystick assemelhava-se ao de videogame, mas com manche mais curto. Tentei forçar para frente, mas precisava de mais forças. Usei então as duas mãos! A cadeira andou! Com isso chamou a atenção de minha mãe, que ficou muito emocionada de ver-me saindo do lugar. Ela pediu-me para dar uma volta, mas consegui apenas puxar para direita. Faltavam-me forças para empurrar para esquerda.

- *Será que tu não consegues filho?* Perguntou ela! Lembrei-me então da física, da "força da alavanca", e perguntei ao vendedor se não havia algo que

pudesse deixar o manche mais comprido, pois na minha ideia, a força aplicada em pontos de extremidade da alavanca diminui proporcionalmente em relação do comprimento do braço de alavanca. Isso me daria uma vantagem mecânica. O vendedor encaixou um pedaço de cano no manche e minha hipótese deu certo. Eu conseguia agora facilmente direcionar para qualquer lado.

Fiquei atônito e minha mãe emocionava-se a cada movimento meu. Não descansei enquanto não adquiri aquela cadeira. Fizemos "Ação Entre Amigos", resgate das economias de minha mãe, auxílio de colegas, e compramos a cadeira em poucos meses depois daquele dia tão feliz. Como o vendedor já havia deixado a cadeira como da última vez que a usei, ela estava pronta para o uso. Eram férias na faculdade, então minhas experiências iniciais de deslocamento eram em casa. No início eu não tinha noção de percepção espacial. Batia em tudo, raspava as batentes das portas de casa, arranhava móveis, foi um desastre! Mas aos poucos comecei a desenvolver muita habilidade. Desviava de obstáculos com muita destreza.

Comecei a sair na rua. Primeiro acompanhado de meus irmãos pequenos⁴ e depois sozinho. Adorava passear, visitar uma tia que morava próximo e ir ao mercado. Lembro que eu não sabia atravessar a rua. Olhava para os dois lados, mas não sabia o momento certo para atravessar. Então pensei: "Os carros que cuidem ora!". E assim eu fazia, pois me sentia livre!

Terminaram as férias e agora era momento de me deslocar pela universidade! Percorria por tudo! Eu não gostava de andar devagar e adorava o desafio de desviar e ultrapassar as pessoas! Eu ia "costurando" a multidão pelos corredores em alta velocidade. Exceto nas fases de estresse. Nesses dias adorava andar lentamente nos jardins da faculdade e nos caminhos isolados. Gostava de sentir o ar livre e pensar nos desafios.

Eu ia sozinho à biblioteca, à lanchonete, à livraria, às lojas e até ao banco. Tudo dentro da universidade! Eu apenas precisava ajuda para ir aos auditórios, que eram em andares superiores e os elevadores não estavam prontos, então eram necessários vários colegas para me carregar, visto que a cadeira motorizada era muito pesada. Eu ficava por vezes com medo de cair ou de não ter ajuda para descer depois, mas fazia disso uma aventura.

Passaram-se dois anos e comecei gradualmente perder mais forças.

⁴ Deivid e Matheus, irmãos temporões, que passaram a ser minha motivação de prosseguir. Eram dicotomicamente meus ajudadores e meus dependentes.

Primeiro na capacidade de escrever e, em seguida, de dirigir a cadeira com a mesma destreza. Logo veio ainda a perda da força do pescoço em segurar a cabeça. Para subir rampas, passei a pedir para as pessoas segurarem minha cabeça, senão ela caía para trás. Algumas vezes, a trepidação de alguns desníveis do chão fazia com que minha cabeça caísse para frente, em cima do joystick. Isso acionava a cadeira e, sem conseguir me levantar sozinho, ficava sem controle e só parava quando batia em algo ou em alguém. Comecei a andar devagar e a evitar lugares isolados.

A perda motora foi se agravando, e o risco de acidentes em me deslocar sozinho também. Precisei então que desenvolvessem um assento especial de adequação postural, que fixasse meu corpo e minha cabeça. Este assento foi formatado para que se adapte a qualquer lugar, tanto na cadeira de rodas como em um banco de veículo.

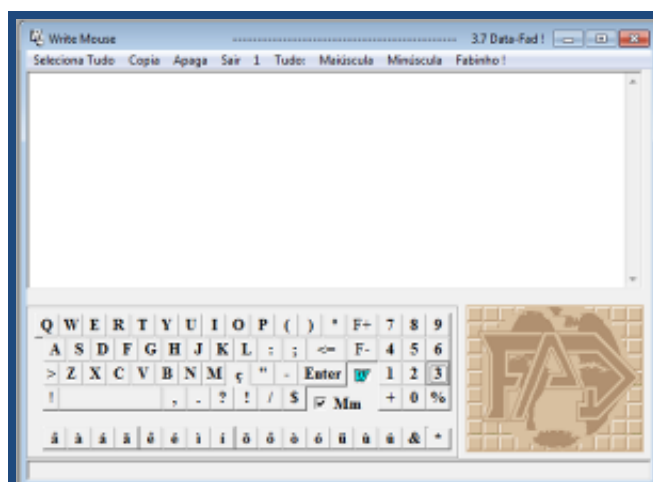
Como portador⁵ de deficiência, pela amiotrofia muscular, senti falta de um programa computacional que agilizasse minha escrita. Eu perdia cada vez mais a força e movimentos das mãos e precisava de velocidade de digitação com o mínimo de movimentos possíveis. Usar caneta e papel me fadigava. Cada dia sentia a caneta mais pesada. A digitação de letra por letra, com um palito na boca para apertar as teclas do teclado, além de requerer mais esforços, não acompanhava meu raciocínio. Chegava a perder a ideia pela morosidade na digitação. Queria digitar meus trabalhos acadêmicos, participar de chats, MSN ou Skype, mas era inviável. Minha necessidade era urgente e precisava de uma solução!

Com os movimentos limitados nas mãos, o uso de minimouse óptico, configurado na velocidade máxima do ponteiro, permitia-me percorrer por toda a tela do computador com a seta do mouse. Esse era o equipamento necessário, mas faltava o aplicativo. Comecei então a ler sobre programação e estudar sozinho como fazer programas computacionais. Meu irmão mais jovem, Fabinho, também iniciou essa busca. Até que então pensamos: “se usando a calculadora do Windows 95 eu

⁵ Que possui, que carrega. Os movimentos sociais das pessoas com deficiência não legitimam o termo portador, pois evidencia a deficiência e não a pessoa. Como esses movimentos reivindicam a humanização do sujeito, o termo correto é Pessoa com Deficiência e não Portadora de Deficiência. Como disse a Presidenta Dilma Rousseff, que testemunhei na 3ª Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência, em Brasília (2012): "*Desculpa, desculpa... pessoas com deficiência. Não, eu entendo que vocês tenham esse problema, porque portador não é muito humano, não é? E pessoa é, então é um outro tratamento*". No entanto, neste trabalho, utilizarei o termo portador quando quiser ressaltar uma dificuldade ou impossibilidade funcional decorrente da deficiência sem, por isso, desumanizar ou inferiorizar a pessoa.

podia digitar um número e copiá-lo para um editor de texto, porque não colocar letras?”. Dessa ideia surgiu o aplicativo apelidado de Write Mouse (Figura 1).

FIGURA 1: Interface do Write Mouse.

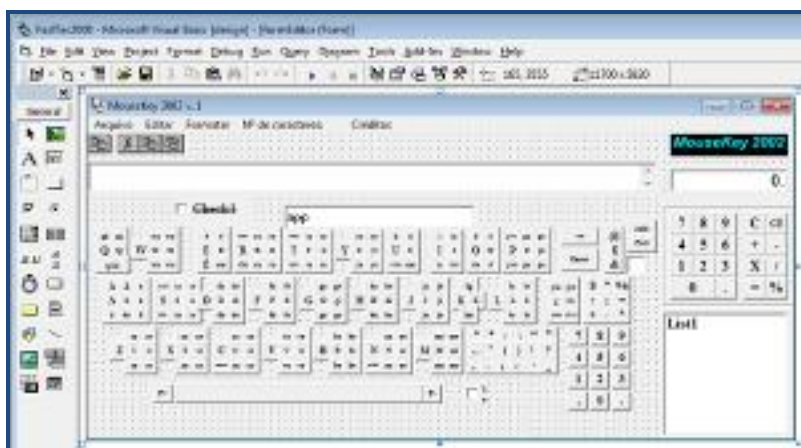


Fonte: próprio autor (2012).

Descrição: A figura mostra a janela do aplicativo, tendo acima uma barra de Menu, uma caixa de texto branca e, abaixo dela as teclas com letras e números, dispostas como no teclado convencional. Abaixo disso aparecem teclas com vogais acentuadas. Ao lado direito das teclas há uma logomarca com um globo terrestre ao fundo das letras FAD, iniciais de Fabinho Dusik.

Esse projeto me auxiliou com algumas instruções iniciais da linguagem Visual Basic, na qual posteriormente me aprofundei. Eu precisava diminuir a quantidade de cliques e aprimorá-lo. Comecei introduzir sílabas e outros recursos, ensaiando vários projetos e versões (Figura 2).

FIGURA 2: Projeto no Visual Basic



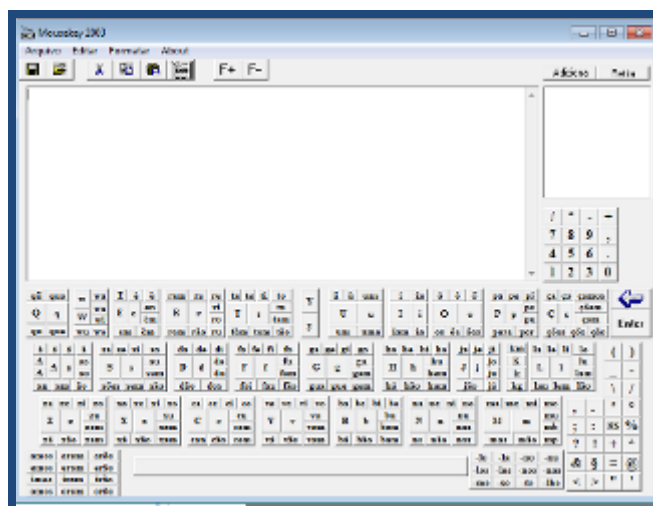
Fonte: próprio autor (2012).

Descrição: A figura mostra a interface do Write Mouse sendo modificada no Editor Visual Basic. No topo e à esquerda os

menus e botões de ferramentas do Editor Visual Basic. No centro a modificação do Layout do Write Mouse, já sendo dispostas as famílias silábicas no redor de cada letra. Já não há a logomarca FAD, mas o título Mousekey, em fundo preto e letras verdes.

Desenvolvi então minha própria solução: o MouseKey⁶ (Figura 3).

FIGURA 3: Interface do Mousekey



Fonte: próprio autor (2012).

Descrição: Novo layout do Mousekey. Acima há uma barra de Menu, há botões de atalho para salvar, abrir, recortar, copiar, colar, aumentar e diminuir fonte. Abaixo disso há uma caixa de texto branca para digitação e, abaixo dela, as teclas com letras dispostas como no teclado convencional, mas dispostas as famílias silábicas ao redor de cada letra. Abaixo dessas teclas há uma barra de espaços, que a sua direita há teclas com os finais das conjugações verbais regulares do presente, passado e futuro do indicativo; e à esquerda há teclas com pronomes oblíquos. Acima e à direita há outra caixa de texto com botões de adicionar e retirar texto. Abaixo dela um teclado numérico e, no canto inferior direito, há teclas com pontuações e caracteres especiais.

O Mousekey foi a solução que desenvolvi para digitar textos com agilidade usando o mínimo de força e movimentos possíveis. Com esse aplicativo primeiramente comecei a digitar meus próprios trabalhos acadêmicos e, em seguida, comecei a fazer trabalhos de digitação para colegas e amigos, ganhando assim meus próprios recursos financeiros.

Quanto ao mercado de trabalho formal eu também encontrei dificuldades de aceitação, exceto pelos estágios voluntários e acadêmicos e, mesmo assim, concorria aos processos seletivos como todos os outros candidatos sem deficiência

⁶ Utilizar-se-á Mousekey quando tratar-se do aplicativo original e Mousekey-UFRGS quando tratar-se do aplicativo reconstruído nesta pesquisa.

No período do estágio probatório me sobressaía como os demais.

Tenho enfrentado tais dificuldades sempre buscando alternativas para superar minhas limitações pela tecnologia, o uso de cadeira motorizada, *Tablet*, *Smartphone*, computador, etc. E, nas relações interpessoais, demonstrando minhas potencialidades, respeitando e buscando o respeito de minhas diferenças. Aprendi o que significa superação e que ela depende de mim, não do tamanho dos obstáculos. Aprendi a construir meu lugar, e não esperar por um.

Dos trabalhos remunerados que me eram oferecidos, ligados a programas de inclusão de pessoas com deficiência, nenhum preencheu minhas expectativas. Eu os via como a minha primeira série, não tinha nenhuma proposta de inclusão. Pareciam-me guetos, pois eram setores exclusivos com PCD (num deles, as pessoas ficavam de frente para uma parede separando parafusos) e não se comunicavam nem entre si. Além disso, todos eram trabalhos manuais, sem a necessidade da reflexão ou interação e com salários muito inferiores.

Então, durante o curso acadêmico, optei em fazer os estágios obrigatórios e voluntários em diferentes lugares, sempre atendendo os objetivos particulares e do curso. Queria qualificar-me profissionalmente e reunir experiências. Queria incluir-me nos espaços e não permitir minha exclusão.

Meu primeiro trabalho remunerado registrado em Carteira Profissional decorreu de um concurso público para Secretário de Escola. Apesar da cota para PCD, como os demais candidatos à vaga, também passei pelos mesmos processos seletivos e períodos de experiência. Fui inicialmente lotado numa escola pública de ensino fundamental, para atuar na secretaria escolar. No primeiro dia nesse trabalho (01/04/2002) me defrontei com a sinceridade de uma dirigente da escola, dizendo que frente às demandas urgentes da instituição, ela não poderia contar com uma pessoa como eu, com deficiência. Precisei assinar uma ata declarando com registro em cartório, que eu não tinha condições de abrir gavetas, atender portão e telefone e de me deslocar pela escola (que não possuía acessibilidade), dentre outras incapacidades.

Ao voltar para casa chorei muito, não só pelo temor de demissão por incompatibilidade com a função, mas por ter me sentido um inválido. Porém, refleti sobre minha trajetória vivida até o momento, recorri a minha fé e esperanças, pedindo a Deus serenidade e sabedoria para encarar mais este desafio. Resolvi erguer minha cabeça e encarar o segundo dia. Chegando à escola, me posicionei no

computador e instalei o Mousekey. Também encontrei um aplicativo que estava sem uso na secretaria, que era o Procergs-Escola. Então o instalei e dei início à informatização da escrituração escolar. Entremeios a alimentação do banco de dados desse aplicativo, eu ainda digitava correspondências e textos para a supervisora escolar, e concluía com muita agilidade. Em três dias o banco de dados estava alimentado, isto é, a secretaria estava informatizada.

A Secretaria Municipal de Educação (SME) soube dessa minha capacidade com a informática e convidou-me para fazer parte da equipe. Sempre que lembro de minha entrada na SME, lembro-me do tratamento recebido, do carinho, do respeito, da credibilidade e da acolhida que recebi, e invade-me um sentimento de gratidão por cada colega.

Fui recebido pela Secretária e pela Diretora⁷ de educação que, naquele momento, simbolicamente me representavam dois anjos recolhendo meu sentimento de humilhação. Elas não apenas acreditaram nas minhas possibilidades como foram sensíveis em procurar eliminar qualquer barreira, adaptando espaços e mobiliários, preparando a equipe para me acolher e designando dois colegas⁸ para estarem mais próximos até que todos se envolvessem comigo. Foi uma experiência completamente nova e diferente para mim, pois preocupavam até com minha alimentação e hidratação durante o expediente, com minha participação nas confraternizações fora do trabalho e com meus deslocamentos entre os espaços, inclusive me carregando no colo quando preciso. Enfim, experimentei uma abordagem acolhedora e inclusiva, a qual eu não vivi em outro trabalho.

Uma colega descreveu em seu Trabalho de Conclusão de Curso:

Conheci Cláudio em uma tarde do mês de abril do ano de 2002. Eu estava ansiosa em conhecê-lo. Dias antes de sua chegada, nosso grupo de trabalho foi informado de que receberia um colega deficiente. Esse colega havia sido aprovado no concurso público, mas o local para o qual foi designado, uma escola, argumentava que ele não tinha condições de exercer as funções que seu cargo de secretário de escola exigia, como: atender as pessoas na secretaria, abrir e fechar armários, mexer em documentos, atender o telefone. A Secretaria de Educação foi comunicada pela escola e, como mantenedora, tinha naquele momento o dever de “olhar” para a situação e tentar resolvê-la da melhor maneira possível. Havia uma pessoa deficiente, um trabalhador legitimamente contratado, com dificuldades de inserção no ambiente de trabalho. Cláudio prestou concurso público, amparado na Constituição Federal de 05 de outubro de 1988, art. 7º, que prevê a proibição de qualquer discriminação no tocante a salário e critérios de admissão do trabalhador portador de deficiência e na Lei nº

⁷ Magela e Lilamar, respectivamente.

⁸ Viviane e Gustavo.

8112, de 11 de dezembro de 1990, art. 5º, que afirma: “às pessoas portadoras de deficiência é assegurado o direito de se inscrever em concurso público; serão reservadas até 20% das vagas oferecidas no concurso”. A Prefeitura de Esteio tem outros funcionários deficientes, mas na Secretaria de Educação ainda não tínhamos vivido essa experiência com um funcionário, somente com alunos nas escolas.

Por meio do relato da escola, ficamos sabendo que Cláudio parecia “dominar” o computador. Causou-me estranhamento quando soube disso. Como uma pessoa deficiente, que não movimenta braços e pernas, utiliza o computador? Mas **foi justamente esse detalhe que fez toda a diferença**. Precisávamos na Secretaria de uma pessoa para o então setor de digitação e ele parecia preencher os requisitos necessários, **não fosse pela deficiência** (WAWRICK, 2005, p.17). [*grifo meu*].

Inicialmente tinha a função de digitador, já que através do Mousekey essa era minha capacidade mais evidente para meus empregadores, senão a única. Mas após mostrar minhas demais competências, como desenvolver um projeto de formação destinado aos Secretários de Escola e um projeto de elaboração de um periódico com artigos da área da pedagogia, passei a integrar o então chamado Núcleo de Editoração e Eventos.

Nessa época nossa equipe se envolveu com um desafio político muito intenso e que necessitou muita coragem das gestoras do executivo, da qual me orgulho de estar presente: a Secretaria Municipal de Educação tomou a decisão de incluir nas escolas municipais comuns os alunos da escola municipal especial. Para tanto, as escolas precisaram se tornar inclusivas e a escola especial ser fechada, dando espaço para criação do Centro Municipal de Educação Inclusiva. Enfrentamos recusa de professores, insegurança de famílias, movimentos populares e resistências partidárias. Mas com competência e firmeza as mudanças se concretizaram, usando encontros de formação como principal instrumento de luta. Eu acompanhava a transformação das escolas que um dia me negaram a entrada.

Retomando essa trajetória narrada, posso então dizer que já tive salas com degraus, já tive barreiras de acesso ao currículo escolar, e ao local de trabalho, já sofri preconceitos e já superei cada desafio. Na educação básica não tínhamos que reclamar de qualquer coisa, pois era um "favor" eu poder estudar. E nem tínhamos mesmo que reclamar, pois afinal, já que me aceitaram na escola por desejo solidário e não por obrigação legal, encontrei na maioria das pessoas a disposição e sensibilidade em me incluir. Sem Diretrizes Operacionais, sem Resoluções e sem uma Política Nacional que mostrassem o caminho a seguir, os professores iam intuitivamente e empiricamente construindo a sua própria inclusão, calcada no bom

senso que os ajudavam a filtrar os procedimentos que funcionavam. Desse processo resultou, com o passar do tempo, um 'jeito' de organizar e conduzir o ensino para mim.

Eles se permitiram errar até acertar. Claro que os erros deles me eram sofríveis, mas o desejo genuíno em acertar, não permitia nenhuma semente de mágoa minha germinar, e regava a paciência necessária em minha mãe para dar-lhes o tempo de encontrar o caminho certo.

Às vezes penso que, se minha mãe não percorresse todas as escolas até encontrar uma que me admitisse; se não tivesse a esperança, a fé e a resistência em aceitar os preceitos clínicos; ou se tivesse me colocado em uma escola de educação especial; e, ainda, se eu não tivesse encontrado apoio na tecnologia assistiva, talvez hoje eu não seria Bacharel em Psicologia pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) ou especialista em Psicologia da Saúde, nem em Neuropsicopedagogia. Não teria sido aluno convidado pelo querido amigo Hugo Otto Beyer (*in memoriam*) para estudar com ele, na linha de pesquisa em Processos de Exclusão e Participação em Educação Especial do Programa de Educação Continuada de pós-graduação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Não teria atuado como pesquisador em doenças crônicas e promoção da Saúde e Qualidade de Vida no Hospital Municipal São Camilo, ou como estagiário em Psicologia Clínica no Hospital Independência, nem como monitor de estágios e trabalhos voluntários do Programa de Manuseio e Estimulação Sensorial no Lar Santo Antônio dos Excepcionais em Porto Alegre. Também não teria sido assessor no Núcleo Administrativo, de Editoração e Eventos da Secretaria Municipal de Educação de Esteio/RS (SME), nem teria sido editor da Revista Aprender é Movimento, dos Cadernos Pedagógicos e de outras publicações da SME.

Ou seja, é muito provável que não tivesse me construído e me desenvolvido dessa forma. Não seria quem hoje sou.

Realizei novo concurso na mesma prefeitura, para o cargo de Psicólogo, e integrei a coordenação de Gestão da Educação Básica na mesma Secretaria Educação, coordenando a política de educação especial na escola comum, os laboratórios de aprendizagem e os laboratórios de informática das escolas municipais. As mesmas escolas que um dia negaram minha matrícula, nesse momento abriam-me os portões para que eu as levasse as diretrizes que as

tornariam escolas inclusivas, isto é, de educação inclusiva⁹.

Estou presidente do Conselho Municipal de Educação e conselheiro no Conselho Municipal de Defesa dos Direitos da Pessoa com Deficiência, além de ter sido presidente no Conselho Municipal de Acompanhamento e Controle Social do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação – FUNDEB. Hoje, minha atual função na Prefeitura de Esteio é a de Coordenador do Polo UAB Esteio. Este Polo é uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Esteio e o Ministério de Educação - MEC, através da Universidade Aberta do Brasil (UAB), que é um sistema integrado por universidades públicas que oferece cursos de nível superior para camadas da população que têm dificuldade de acesso à formação universitária, por meio do uso da metodologia da educação a distância. Onze cursos são oferecidos, entre especialização, extensão e graduação, somando 520 alunos atendidos.

Toda essa trajetória narrada levou-me as razões da escolha da Linha de Pesquisa em Informática na Educação. Por isso, no mestrado, discorri que, com o advento do paradigma de um sistema educacional inclusivo e de uma sociedade inclusiva, assume-se o compromisso de garantir que as pessoas com deficiência não sejam excluídas do sistema geral de ensino, nem das atividades sociais comuns. Para tanto, adequações precisam ser realizadas com vistas a possibilitar sua efetiva participação em ambientes que maximizem seu desenvolvimento acadêmico, laboral e social, respeitando à dignidade humana das pessoas com deficiência e a promoção de suas potencialidades, aprendizagens, criatividade e participação.

No mestrado minha trajetória não foi muito diferente. Aos poucos a UFRGS tem se adaptado a mim e eu à UFRGS. Mas uma situação nova para mim e para o programa foi quando eu tinha que apresentar um trabalho no exterior, em Viseu (Portugal). Não havia como justificar legalmente as despesas com acompanhante. Afinal, até o momento, os mestrandos e doutorandos não eram pessoas com limitações nas atividades comuns da vida diária. Mas graças ao empenho insistente da coordenação e da minha orientadora, a universidade criou meios para eu desempenhasse minha missão científica. Cabe destacar um relato dessa experiência que enviei por e-mail para a coordenadora e para minha orientadora, e

⁹ Dizer "educação inclusiva" me parece um erro gramatical, uma redundância tal qual dizer subir para cima ou descer para baixo, pois se a educação não for inclusiva, é qualquer coisa menos educação. Da mesma forma, se a escola não for inclusiva, é qualquer coisa menos escola. Mas dado ao tempo de exclusão é preciso essa denominação.

que, na época, pediram-me para publicar:

Maria e Lucila!

A viagem foi ótima e maravilhosa! Uma experiência incrível e uma aventura! O pessoal do evento foi muito atencioso, os professores buscavam-me no hotel, garantiram minha participação e até adaptaram um banheiro reservado para eu usar, já que as atividades eram o dia inteiro. Acredito que fiz sucesso lá, já na abertura do evento, *he! he!* Após a palestra de abertura com o Dr António Dias de Figueiredo, Professor emérito de Sistemas de Informação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, foi aberto para debates [...] finalizei o debate reforçando uma fala do professor e referindo sobre o papel socializador de algumas tecnologias. Na temática que apresentei também recebi muitos retornos positivos e pedidos de contato. Acho que cumpri a missão e destaquei bem nossa UFRGS!

Quanto ao país é lindo e nem preciso dizer das lindezas de lá! É um lugar que, no geral, corresponde ao desenho universal de acessibilidade e facilidades. Mas percebi que em termos de cultura de inclusão e "naturalidade" frente à pessoa com deficiência, o Brasil ganha de disparada. As posturas e olhares das pessoas de lá, quando me viam, lembravam-me as posturas e olhares das pessoas nos anos 80 daqui do Brasil, de uma época que PCDs não saiam na rua, não estudavam nem trabalhavam. Eram olhares de estranhamento misturado com piedade, olhares que eu já não via há anos, não de todos portugueses claro, mas de grande parte das pessoas. Tanto que, ao sair do aeroporto, pegamos um taxi. Acreditam que o taxista começou a xingar minha mãe?! Xingava embravecido dizendo: *Por que tu o trouxeste? Por que não o deixava em casa? Onde já se viu trazer um menino assim!*

Minha mãe calmamente respondeu: *meu senhor, eu não trouxe ele, ele que me trouxe...* Mas o taxista continuava xingando: *"E seu marido, por que não veio junto? Que absurdo!"* Minha mãe, menos calmamente respondeu que não tinha mais marido, e ele: *"Mais absurdo ainda! Uma mulher sem marido, com um rapariga assim e cheia de malas! Isso não se faz! Que ficasse em casa!"*. Então ele queria nos cobrar 400 euros para nos levar a Viseu, pois seria absurdo eu andar de autocarro (ônibus). Minha mãe negou e exigiu respeito dele. Ele então nos largou na rodoviária, mas bem longe da entrada, nos cobrou 15 euros e no contador mostrava 10.

Com malas e comigo na calçada, tivemos sorte de encontrar um guarda que ajudou chegar à bilheteria... A partir daí nos trataram com cordialidade e respeito, ainda mais que minha mãe ia logo dizendo que eu estava indo apresentar um invento numa universidade de Viseu. O ônibus foi super confortável e viajamos 5 horas de Lisboa a Viseu, vendo paisagens lindíssimas! Chegando a Viseu, o próprio motorista do ônibus procurou um taxista que nos tratasse bem para nos levar ao hotel.

O hotel estava ótimo, tinha as adaptações necessárias e nos atenderam muito bem. Só que no hotel tudo era caro, inclusive internet, café e lanche. Um cafezinho com uns biscoitos custavam 15 euros, e se fôssemos continuar com esses preços iríamos ter que nos manter só com almoço do evento, que era gratuito. Então, fizemos outra aventura! Havia um supermercado perto. Acreditam que até no supermercado eu fui?! Aqui no Brasil não consigo ir e lá eu fui! Com muito menos custos do hotel, compramos café e leite solúvel, açúcar, pão, uma geleia de frutos vermelhos, biscoitos, sopas instantâneas e, ainda, por 10 euros, uma jarra que liga na tomada e ferve água! E assim nos viramos!!! No mercado tinha um carrinho de compras que acopla em cadeira de rodas! Uma excelente ideia!

Para o retorno não havia ônibus compatível com o horário do voo, iríamos

chegar na hora que o avião iria decolar. Com o dinheiro que vocês depositaram fiz o pagamento do hotel e restaram-nos 280 euros, insuficiente para um taxi comum que daria 400. Como dava seguido na TV sobre a crise na Europa e muitos desempregados, tivemos a ideia de perguntar para camareira se ela conhecia alguém que tivesse carro e estivesse precisando. A camareira ficou empolgada e disse que por 250 ela mesma levaria até o aeroporto de Lisboa, que precisava um dinheiro extra! Mas como era seu horário de serviço, ela chamou um amigo que nos levou!

Enfim chegamos bem e cheios de coisas para contar e recordar!

Abraços!

Assim, minha sensação de ser a primeira pessoa com deficiência física a concluir o mestrado no PPGEdU da UFRGS parece ser semelhante a de um jogador ao erguer a taça da Copa. Eu cresci sendo o primeiro em muitas coisas, sendo o único em outras, mas raramente sendo só mais um. É como se tivesse que ir a algum lugar sem ter um caminho, em que eu que tinha que "desbravar" esse caminho.

Às vezes parece uma dádiva, às vezes um legado, às vezes um encargo. O encargo devido aos "arranhões", aos esforços para tirar as barreiras do caminho e das trilhas que eu tinha que abrir: barreiras atitudinais, arquitetônicas, comunicacionais, instrumentais, programáticas e naturais. A dádiva porque isso leva a uma maior contemplação da chegada. O legado porque, depois que eu passava, ficava mais fácil o caminho para outros.

O Mousekey foi o aplicativo que direcionou minha dissertação de Mestrado e trouxe uma reflexão nacional sobre a pessoa com deficiência. No dia da defesa, sai de casa com a ansiedade comum de quem enfrentaria uma banca de avaliadores, mas, ao chegar à sala, encontrei ainda repórteres e câmeras de jornais e telejornais, dentre eles o Fantástico¹⁰, da Rede Globo. Após, recebi do Senado Federal, em 03 de dezembro de 2013¹¹, o título de Comendador de Direitos Humanos¹², visto trazer à sociedade não apenas uma tecnologia, mas uma reflexão¹³ sobre uma sociedade inclusiva. Com esse título, carrego um legado de continuidade no desenvolvimento tecnológico e social.

¹⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wOTzBocAFUo>

¹¹ O dia 03 de dezembro é Dia Internacional da Pessoa Com Deficiência.

¹² A Comenda de Direitos Humanos Dom Hélder Câmara é destinada a galardoar personalidades que tenham oferecido contribuição relevante à defesa dos direitos humanos no Brasil.

¹³ Através de palestras por todo país, entrevistas em programas e noticiários e apresentação em seminários e congressos. Além da repercussão nacional, apresentou-se em Portugal, Espanha, México e Paraguai.

Combatentes do bem

O presidente da sessão, senador Paulo Paim (PT-RS), considerou os cinco homenageados “combatentes do bem” e participantes de uma “luta sem fronteiras”. Para ele, a defesa dos direitos humanos é uma tarefa que exige coragem e abnegação em prol do semelhante.

– Que bom saber que no mundo existem pessoas iguais a vocês – disse, referindo-se aos condecorados.

Um dos homenageados, o psicólogo Claudio Luciano Dusik, que sofre de uma doença degenerativa que lhe impede os movimentos, lembrou que milhares de crianças com deficiência estão fora da escola e são rejeitadas pela sociedade.

– O resultado desse histórico, segundo o IBGE, se reflete no fato de haver 60% de pessoas com deficiência sem alfabetização. Temos muito ainda que lutar para eliminar os resquícios históricos que excluíam ou nos induziam a crer na existência do impossível. Mas quebrar a barreira do impossível é só uma questão de tempo até que tenhamos um meio de superar nossos próprios limites – afirmou Dusik, inventor de um teclado virtual para pessoas com deficiência (SENADO FEDERAL, *online*, 2013).

O Mousekey foi disponibilizado gratuitamente e, na ocasião do recebimento da Comenda, havia atingido mais de 13 mil pessoas. Hoje se estima mais de 20 mil downloads¹⁴.

FIGURA 4: Mousekey-UFRGS



Fonte: próprio autor (2012).

Apesar de todas essas conquistas e de acreditar que ainda posso trilhar novos caminhos, tenho claro que carrego uma doença progressiva, que ela afeta meus músculos e que, em algum momento, poderei perder todos os movimentos, inclusive a deglutição e a fala.

No entanto, após perder pessoas que me eram queridas, nas quais não se esperava sua partida antes da minha, aprendi que hoje estamos no mundo e amanhã poderemos não estar, independente de condições de saúde. Eu aprendi

¹⁴ Dados do Baixaki: <http://www.baixaki.com.br/download/mousekey.htm>

que cada um tem a vida por um fio, e que não são as doenças e as limitações que determinam sua intensidade, mas sim o ponto de visão em que ela é colocada, pois a vida é como uma lâmpada: ela não se apaga quando é posta embaixo da cama, ela apenas deixa de iluminar o todo; ela só se apaga quando a corrente elétrica deixa de acendê-la. Assim também são muitas pessoas neuroencarceradas ou em estado comatoso, sua vida não se apagou, apenas ficou oculta pelas circunstâncias.

Então, a exemplo do Mousekey, em que busquei superar minha incapacidade motora de escrita, busco encontrar soluções para minha provável incapacidade motora de comunicação. Para tanto, sem movimentos, precisarei contar apenas com as ondas cerebrais. Assim, logo após terminar o mestrado ingressei neste doutorado e apresentei o projeto chamado: A interação entre Interface Cérebro Computador e sujeitos com incapacidade motora grave para comunicação.

A proposta de pesquisa, no ato da apresentação à banca de avaliadores, ainda parecia distante de minha realidade pessoal, e eu almejava utilizar apenas com outras pessoas (sem comunicação) como sujeitos de pesquisa. No entanto, decorridos alguns meses após a defesa do projeto de tese, sofri uma insuficiência respiratória. Entrei em estado de coma e, para salvarem minha vida, fui traqueostomizado e conectado à ventilação mecânica invasiva. Ainda em coma eu ouvia da equipe médica a improbabilidade de voltar à vida e, caso voltasse, dependeria de aparelhos para me manter vivo. Mas em meu pensamento eu acreditava que poderia acordar, eu orava a Deus e repetia a mim mesmo: *Acorda! Acorda!* Após alguns dias, ao acordar deparei-me com minha mãe tentando me tranquilizar, pois eu estava conectado a diversos tubos e sem capacidade de fala.

Desta forma, o projeto de tese outrora defendido, nesse momento foi providencial para que eu me comunicasse. Com o auxílio do colega e amigo William Pedroso¹⁵, a Interface Cérebro Computador que estávamos desenvolvendo foi levada onde eu estava: na Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) do Hospital São Camilo, em Esteio. Pude me comunicar por meio de ondas cerebrais. Mas o relato detalhado disso será apresentado no corpo desta tese, pois, ao contrário do que havia planejado, fui sujeito de minha própria pesquisa.

Senti-me convocado e comprometido a me reconhecer como parte no

¹⁵ Anjo disfarçado de Programador, bolsista e voluntário do NIEE/URFGS.

processo de pesquisa sobre um determinado recurso tecnológico, e também a abrir espaço, em meu estudo, para o que se passava dentro de mim ao longo dessa investigação. Nisso, pude entrelaçar os conhecimentos próprios aos saberes construídos por outras pessoas. Significa que posso trazê-los como convites à reflexão por outros caminhos diferentes daqueles que, até então, faziam parte de uma ciência neutra. Nicolescu (1999) diz que, por meio de uma experiência vivida, integramos os saberes baseados na teoria e na experiência científica ao nosso próprio ser, fazendo-nos descobrir em nós mesmos um novo nível de percepção.

Depois de alguns meses, relutando contra as máquinas e novamente contrariando as expectativas, recuperei minha autonomia respiratória e fui descanulado¹⁶.

Tal retirada da cânula gerou polêmica entre o cirurgião e a pneumologista, pois esta trabalhava no sentido de seguir um protocolo e me ajudar a que me adaptasse a uma vida com traqueostomia permanente. No entanto, ao retirar a cânula de minha traqueia para avaliar possíveis danos em minhas cordas vocais, glote e laringe, o cirurgião, que se apressava em devolver a cânula para poder me acoplar ao respirador novamente, surpreendeu-se que não houve baixa de minha oxigenação. Então, ele ficou observando e conversando com a pneumologista acerca da retomada de minha autonomia respiratória, cogitando com ela a não dependência do respirador mecânico. Mas suas visões eram distintas e assisti certa discussão técnica entre eles, em que a pneumologista explicava-lhe o protocolo a ser seguido e a necessidade de eu permanecer canulado. Estes 10 ou 15 minutos de conversa foram suficientes para que parte da abertura cirúrgica da traqueia se fechasse e o cirurgião não conseguisse recolocar a cânula. Lembro-me da cena do cirurgião colocando suas duas mãos sobre sua cabeça e dizendo:

- Meu Deus! Que esse rapaz tem?! Isso leva semanas para fechar!

A pneumologista o ordenava ansiosa que recolocasse, fazendo com que o cirurgião forçasse a cânula em meu pescoço como se estivesse recolocando uma rolha na garrafa de vinho. O cirurgião, enquanto forçava, explicava-lhe que não daria sem nova cirurgia, mas a pneumologista apenas repetia para recolocar. Nisto senti muita dor, então arrisquei um grito. Minha voz saiu nítida e firme, e os dois ficaram pasmos, como estátuas, me olhando. Então, entre choro, disse que assinaria

¹⁶ Retirada da traqueostomia.

qualquer termo de compromisso, mas que não recolocassem em mim novamente aquela cânula. O cirurgião então me disse com olhos firmes: "*Cláudio, tu não precisas assinar nada, não lhe farei nova cirurgia*". Dirigi meu olhar para o pneumologista e ele disse também com firmeza:

- *O Cláudio até agora nos surpreendeu em tudo, sua oxigenação não caiu, voltou a falar sem terapia de fonoaudiologia, que levaria meses, está estável, batimentos cardíacos não demonstra cansaço, não vejo sentido submetê-lo ao risco de uma nova cirurgia.*

Olhou para mim e disse (dizendo a ela): - "*a doutora irá providenciar um suporte ventilatório não invasivo*". E saiu.

Contrariada, a médica chamou a chefe do setor de Pneumologia, e ambas discursavam comigo tentando convencer-me da necessidade de uma nova traqueostomização para fins preventivos, explicando-me um protocolo baseado num quadro, num diagnóstico, com receio de considerar minha idiossincrasia e deixar-me em risco de nova insuficiência respiratória. Sentia-me um menino mimado e teimoso diante delas, mas embora eu soubesse que meu conhecimento não é maior que o delas, eu sabia que meu desejo era. Então não aceitei e providenciaram um respirador mecânico nasal (não invasivo¹⁷), do qual utilizo várias vezes, ao mínimo de sinal de cansaço para evitar fadiga muscular.

Ao ter alta hospitalar, fui convidado pelo Comitê Olímpico para conduzir a Tocha Olímpica, então compartilhei nas redes sociais:

Minha alegria em carregar a Tocha Olímpica não se deu apenas pelo símbolo, ou por ter sido um dos 12 mil escolhidos entre 200 milhões de brasileiros. Também foi... Mas minha alegria se deu porque eu lutava pela vida. Então, enquanto eu carregava a tocha com minha mãe, passou um filme na minha cabeça... eu me lembrava dos momentos críticos que passei... de morte e de vida. De repente eu estava ali: numa rua com uma multidão, respirando sozinho, falando, vendo o sol, na minha cadeira motorizada, segurando com minha mãe uma chama!

Foi surreal! Foi uma ação Divina! Eu carregava a vida! Eu carregava a vida segurando uma tocha!

Posso continuar fazendo o que sempre fiz: lutar pela minha qualidade de vida e daqueles que vivem lutas semelhantes, e mostrar a todos que com fé em Deus podemos ir longe! Há um texto bíblico que diz: *Mas Deus escolheu as coisas loucas deste mundo para confundir as sábias; e Deus escolheu as coisas fracas deste mundo para confundir as fortes* (1 Coríntios 1:27).

¹⁷ O BiPAP (Bilevel Positive Pressure Airway) é um dos tipos de respiradores mecânicos usados no suporte ventilatório por pressão e que são tipicamente empregados para a ventilação não invasiva. Normalmente ele é administrado através de uma Máscara Nasal ou Facial. Semelhante a um compressor, ele tem a capacidade de gerar um fluxo de ar para o paciente, fazendo com que a pressão nas vias aéreas do indivíduo fique sempre positiva.

Como eu ainda estava sobremaneira enfraquecido, e ainda tinha que manter as mãos na Tocha, minha cadeira motorizada foi controlada remotamente pelo amigo William Pedroso, que desenvolveu um sistema de automação que a controla via wireless através de seu *smartphone*.

IMAGEM 1: Condução da Tocha Olímpica



Fonte: Comitê Olímpico (2016).

Assim, neste Doutorado em Educação, na Linha de Pesquisa em Informática na Educação na UFRGS, sob orientação da professora Dra. Lucila Santarossa, busquei investigar outros recursos tecnológicos computacionais disponíveis para pessoas com incapacidade motora grave para comunicação. Busquei refletir possibilidades para pessoas com deficiência ainda mais grave, como aquelas que não possuem nenhum movimento. O pretendido, então, foi desenvolver uma interface que ofereça um canal entre o pensamento (ondas cerebrais) e o aplicativo, com vistas à comunicação, necessária à inclusão sociodigital do sujeito.

Finalizando esta apresentação, pode-se dizer que ao desenvolver uma Interface Cérebro Computador poder-se-á mostrar evidências de auxiliar no enfrentamento de mais pessoas em situações críticas. Neste relato histórico, de vida e de formação, desenvolvi minha humanidade, minha "*gentitude*¹⁸", meus propósitos e motivações, minhas escolhas e caminhos, e entrelacei comigo mesmo a vida e a pesquisa, tais quais os "arquivos existenciais que guardam registros sensoriais, emocionais, cognitivos acessados nos espaços pedagógicos quando o professor se

¹⁸ Gentitude: [...] "uma das melhores coisas que podemos experimentar na vida, homem ou mulher, é a boniteza em nossas relações mesmo que, de vez em quando, salpicadas de descompassos que simplesmente comprovam nossa gentitude" (FREIRE, 1992, p.64).

exerce" (FURLANETTO, 2010, p.4).

O filósofo Parmênides (460 A.C) em '*Da Natureza*', diz que "o mesmo é pensar e ser". O filósofo René Descartes (1600 D.C), em '*Discurso do Método*' cita a frase: "eu penso, logo existo". Sendo os pensamentos Ondas Cerebrais, a medicina também considera a existência, a vida, enquanto houver pelo menos 2 μ V (microvolts) de ondas, menos disso é quando se entra em Silêncio Elétrico Cerebral - SEC para o diagnóstico de morte (LUCCAS, BRAGA e SILVADO, 1998).

De acordo com Vygotsky (1991), é por meio das palavras que o ser humano pensa. Assim, a linguagem interna é o próprio pensamento, e este não se reflete na palavra, mas se realiza nela. Vygotsky reconhecia que é o pensamento verbal que nos ajuda a organizar a realidade em que vivemos. Por isso, a relação pensamento/linguagem é a chave para a compreensão da natureza da consciência humana.

Sendo assim, ao se considerar o pensamento como vida e a linguagem como realização da consciência, a comunicação é fundamental ao ser humano. Há pessoas que por doença ou lesões neurológicas ficam sem conseguir se movimentar ou comunicar, porém mantêm-se consciente e intelectualmente ativa e seu estado, muitas vezes, confunde-se com uma vida vegetativa.

Portanto, captar ondas cerebrais para que a pessoa possa se comunicar, significa trazê-la de volta à vida. Se há condições de pensar, logo de existir, precisa-se urgentemente dar os primeiros passos para a tecnologia transformar, nesses sujeitos, as ondas cerebrais em comunicação e ações.

Foi um autodesafio lançado desenvolver essa tecnologia assistiva, por Interface Cérebro Computador (*Brain Computer Interface*), e o de tensionar que haja mais exemplos para o mundo de atitudes de acessibilidade.

Diante disso, essa pesquisa visa investigar como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave. Para apresentar este estudo, no próximo capítulo, Capítulo 2, busca-se descrever o contexto da pessoas com deficiência física e tecnologia assistiva, bem como conceitos de incapacidade motora grave e descrições de funções e estruturas relacionadas com o movimento, atividades, participação e produtos e tecnologias para a comunicação alternativa. No Capítulo 3 aborda-se a Interface Cérebro Computador, descrevendo-se inicialmente noções do Sistema Nervoso Central (SNC), alguns conceitos de eletrônica necessários para compreensão das

ondas cerebrais e neurofeedback e, então, os métodos comunicativos entre computadores e ondas cerebrais. O capítulo finaliza com um levantamento de tecnologias e projetos realizados nesse campo.

No capítulo 4 descreve-se o problema de investigação e objetivos, enquanto que o capítulo 5 descreve o método da pesquisa, a caracterização e tipo do estudo, a caracterização dos participantes e os procedimentos da pesquisa.

O capítulo 6 apresenta os dados e resultados. Inicialmente apresenta-se um levantamento de estudos similares, já realizados, para levantamento dos requisitos de software apontados pelos pesquisadores para qualidade em uso da ICC. Tal levantamento foi importante para compreensão dos atributos necessários e esperados ao sistema pretendido. Após isso, apresenta a seleção do dispositivo de ICC e o desenvolvimento do protótipo: o MuseKey. Na sequência apresentam-se os resultados da avaliação operacional do usuário e funcional da ferramenta

Por fim, apresentam-se as considerações finais.

Acredito, logo existo! Busco garantir, assim, ao escrever "P-O-S-S-Í-V-E-L" na minha história de prováveis impossíveis, que também outras pessoas com deficiência não sejam excluídas da vida, do sistema geral de ensino e, conseqüentemente, do convívio social.

Até aqui, para elucidar o "*Acreditar*" da pesquisa, reporte-me em primeira pessoa, como o pesquisador-sujeito, narrador-personagem, um ser singular, e daqui em diante utilizarei a voz da terceira pessoa, como o sujeito-pesquisador, escritor-observador, um ser universal, procurando afastar-me para melhor me aproximar daquilo que me diz respeito: a pesquisa.

1 INTRODUÇÃO- *Almejo, e nisso existo*

A realização de um sonho depende de dedicação, há muita gente que espera que o sonho se realize por mágica, mas toda mágica é ilusão, e a ilusão não tira ninguém de onde está, em verdade [...] quem quer fazer alguma coisa, encontra um meio. Quem não quer fazer nada, encontra uma desculpa (Roberto Shinyashiki).

O Brasil já caminha na construção de uma sociedade inclusiva em que, através de diversos dispositivos legais, procura incluir as Pessoas com Deficiência (PCD) nos espaços comuns do convívio social. Diferentes estratégias e recursos têm possibilitado que essas pessoas desenvolvam atividades que, em outrora, estavam impossibilitadas para, assim, ter participação na sociedade.

No entanto, no que tange à classificação da deficiência¹⁹, em Grave, Moderada e Leve, a pessoa com deficiência grave ainda entra no discurso de uma exceção para inclusão e participação, com a justificativa de não haver as mesmas estratégias e recursos que têm possibilitado a participação da pessoa com deficiência Moderada e Leve. Assim, é necessário um olhar mais atento para as pessoas com deficiência grave, já que a classificação do grau da deficiência não leva em conta apenas suas disfunções orgânicas, mas na avaliação também são identificadas as barreiras externas a partir de fatores como: produtos e tecnologia, ambiente natural e mudanças ambientais feitas pelo ser humano, apoio e relacionamentos, atitudes, serviços, sistemas e políticas²⁰.

Com o surgimento do modelo de um sistema educacional inclusivo, assume-se o compromisso de garantir que as Pessoas com Deficiência não sejam excluídas do sistema geral de ensino, em todos os níveis, inclusive nos mais elevados, e em todas as modalidades. Da mesma forma, preconizam-se incluir todas as pessoas e, nessa intenção, a palavra "todas" significa "cada uma", o que não exclui pessoas com deficiência grave. Para tanto, ajustamentos precisam ser realizados com vistas a possibilitar sua efetiva educação e participação, principalmente em ambientes que maximizem seu desenvolvimento acadêmico e social, respeitando a dignidade das pessoas com deficiência e a promoção de suas potencialidades, aprendizagens,

¹⁹ Pela Classificação Internacional de Funcionalidades - CIF.

²⁰ Portaria Interministerial AGU/MPS/MF/SEDH/MP nº 01 de 27/01/2014. Aprova o instrumento destinado à avaliação do segurado da Previdência Social e à identificação dos graus de deficiência, bem como define impedimento de longo prazo, para os efeitos do Decreto nº 3.048, de 6 de maio de 1999.

criatividade e autonomia.

A partir desse embasamento, o surgimento da Tecnologia Assistiva (TA), como área de conhecimento, visa desenvolver recursos para, entre outras coisas, eliminar ou diminuir as barreiras de acesso ao currículo escolar e aos afazeres acadêmicos, promovendo a acessibilidade pedagógica, de comunicação e de sinalização de alunos com deficiência que possuem Necessidades Educacionais Especiais (NEE)²¹. Desse grupo, elencou-se neste estudo a incapacidade motora para comunicação verbal através da fala.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Há distintos tipos de deficiências e, para cada uma, distintos tipos de necessidades especiais²² em cada pessoa. Dentre estes se destaca a condição grave resultante de alguma doença ou lesão neurológica, em que ocorre paralisia de todos os músculos do corpo²³. As informações que o cérebro emite não são captadas pelos músculos, e o corpo não responde às ordens cerebrais. Nesta situação, a pessoa fica presa dentro de si mesma, sem conseguir se movimentar ou comunicar, porém mantém-se consciente e intelectualmente ativa. A pessoa ouve, vê, sente, pensa, deseja, mas não consegue se comunicar. Para muitos não há cura, mas há métodos que podem ajudar a melhorar a qualidade de vida desses sujeitos.

O ser humano pode constituir-se como sujeito de várias maneiras, dependendo das situações concretas em que vive. Mas é pela apropriação ativa, que se dá através de interações humanas, organizadas em atividades, que os seres humanos constituem-se como sujeitos capazes de pensar autonomamente. Assim,

²¹ Os movimentos da pessoa com deficiência têm lutado para que não se use esta terminologia. No entanto, não tem sido uma luta unânime, visto que os acadêmicos participantes de tais movimentos reconhecem que há pessoas com deficiência com autonomia, mas há aquelas que possuem uma ou mais necessidades de apoio educacional. Da mesma forma, nem todas as pessoas com necessidades educacionais especiais são pessoas com deficiência, como por exemplo os alunos disléxicos. Assim, nesta pesquisa os termos PCD ou NEE referem-se às pessoas com deficiência que possuem necessidades educacionais especiais.

²² Assim, uma tecnologia assistiva pode servir para um indivíduo e não servir para outro, mesmo que apresentem a mesma classificação nosológica, isto é, a classificação pela qual um determinado agravo à saúde que tenha determinados sintomas, sinais, bem como alterações patológicas específicas, recebe o mesmo rótulo, que pode também ser chamado diagnóstico, em qualquer lugar do mundo.

²³ Dentre as causas, pode-se citar: lesões cerebrais traumáticas, sobredosagem de medicamentos, esclerose lateral amiotrófica, traumatismos craniados, meningite, hemorragia cerebral.

na visão vygotskyniana, os espaços sociais e educacionais constituem-se privilegiados para que a pessoa se aproprie das conquistas das gerações precedentes, na medida em que nela se conta com o amparo e o auxílio de membros mais experientes da cultura, na difícil empreitada de construir uma visão própria e crítica do real.

Vygotsky (1991) enfatiza a importância da ação, da linguagem e dos processos interativos na construção das estruturas mentais superiores. Entretanto, as limitações funcionais do aluno com deficiência grave tendem a tornar-se uma barreira de acesso aos recursos oferecidos pela cultura, pela escola e pelo seu contexto social, e isso influencia nos processos de mediação.

Assim, os recursos de Tecnologia Assistiva seriam, então, os instrumentos mediadores para reduzir ou eliminar as barreiras causadas pela deficiência e para possibilitar a inserção desse sujeito nos ambientes ricos para a aprendizagem. Vygotsky (1997) defende, na obra "Fundamentos da Defectologia", que os princípios do desenvolvimento cognitivo são os mesmos para todos, contudo, o que define o destino da pessoa não é a deficiência em si, mas sim suas consequências sociais, já que uma criança com necessidades especiais não é uma criança menos desenvolvida, mas uma criança que se desenvolve de outra maneira.

Por isso, as tecnologias passaram a ser consideradas como necessárias à inclusão social dos indivíduos. Pode-se então dizer que para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis, enquanto que para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis (RADABAUGH, 1993). Dentre tais tecnologias, destacam-se os recursos de Comunicação Alternativa e Aumentativa (CAA) como assistência e apoio àqueles que, por alguma limitação motora²⁴, não conseguem se comunicar nas formas convencionais.

No entanto, percebe-se que, mesmo diante da variedade de recursos para auxiliar na comunicação, não é possível considerar que atenda todas as necessidades, visto haver uma gama de diferentes deficiências, de formas diferenciadas que cada uma delas se apresenta em cada indivíduo e dos contextos que envolvem esta atividade, como em casa, no mercado de trabalho ou no ambiente educativo²⁵.

²⁴ A limitação motora se refere à dificuldade ou perda de movimentos.

²⁵ Essa diferenciação é importante para priorizar níveis de automação de atividades da tecnologia, diminuindo o esforço físico ou priorizando a experiência interativa e aquisição de conceitos.

Alunos com a mesma deficiência podem necessitar de atendimentos diferenciados. Por isso, o primeiro passo para se planejar o Atendimento não é saber as causas, diagnósticos, prognóstico da suposta deficiência do aluno. Antes da deficiência, vem a pessoa, o aluno, com sua história de vida, sua individualidade, seus desejos e diferenças (ROPOLI, 2010 p.22).

Por isso, devem-se considerar as tecnologias inacabadas e ampliar cada vez mais sua variedade de recursos. As Tecnologias da Informação e Comunicação devem estar abertas às suas próprias inovações e flexibilidades, para que sejam proveitosamente aplicadas às realidades distintas, satisfazendo as necessidades sociais (WARSCHAUER, 2006).

Esta tese de doutorado apresenta, então, uma pesquisa que descreve a interação entre uma Interface Cérebro Computador (ICC), que permite ao usuário digitar por ondas cerebrais, e sujeitos com incapacidade motora grave de comunicação. A partir desse sistema, objetiva-se analisar o processo de escrita de pessoas com deficiência física grave, em sua comunicação e inclusão digital.

Uma Interface Cérebro Computador consiste em um mecanismo de comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo. Sujeitos que são severamente limitados pela perda de todo controle muscular voluntário, mas são capazes de idealizar e planejar movimentos, e não os efetuam fisicamente, podem se beneficiar da ICC ao prover um novo canal de comunicação.

Pesquisadores têm se empenhado para promover uma vida mais autônoma e participativa das pessoas com deficiência, seja através da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de trabalho, ou através de auxílio nas atividades da vida diária, como alimentação, higiene e monitoramento da saúde. A Tecnologia Assistiva passou, então, a ser considerada como necessária à inclusão social dos indivíduos.

Não se pretendeu pensar esse sistema como instrumento capaz de, por si só, eliminar todas as barreiras encontradas pelas pessoas com deficiência ao ato de escrever, mas como facilitador que, se usada criatividade e seleção adequada de instrumentos, poderá contribuir de maneira efetiva para o bom desempenho de seus usuários.

A Tecnologia Assistiva é recursos e serviços que visam facilitar ou possibilitar o desenvolvimento de atividades diárias por pessoas com deficiência. Procura aumentar as capacidades funcionais e, assim, promover a independência e a autonomia de quem às utiliza. O desenvolvimento de TA tem propiciado a

valorização, integração e inclusão dessas pessoas, promovendo seus Direitos Humanos. Assim, TA é definida como qualquer produto, instrumento, equipamento, sistema tecnológico, de produção especializada, artesanal ou comumente à venda, utilizado por pessoa com deficiência para prevenir, compensar, atenuar ou eliminar uma deficiência, incapacidade ou desvantagem (CNAT, 2005).

O indivíduo que não souber ou não puder interagir com os meios digitais, poderá não conseguir realizar de forma autônoma tarefas simples do cotidiano. Esta separação entre quem pode ou consegue não nasce com a disseminação das tecnologias digitais, mas se agrava na medida em que não se pensa em melhoria no avanço tecnológico em seus desdobramentos (DUSIK e SANTAROSA, 2013). A exclusão tecnológica é uma realidade para muitos, quer seja por impossibilidade física, financeira ou desconhecimento. Há ainda minorias que, por mais que apresentem a motivação em interagir com as tecnologias, são impedidas pela falta de acessibilidade aos meios virtuais/digitais (DUSIK, SCHNEIDER e VIANNA, 2012).

A Acessibilidade Tecnológica, para Santarosa e Uchoa (2003), é um campo interdisciplinar, no qual os educadores, cientistas da computação, designers e demais pesquisadores, representam papéis importantes. O propósito deste campo de estudo é resolver os problemas de acesso à tecnologia por pessoas com necessidades especiais.

Assim, as tecnologias passaram a ser consideradas como necessárias à inclusão social dos indivíduos. Frente a essa realidade, surge um pleito crescente ao desenvolvimento de estudos para desenvolver tecnologias destinadas a pessoas com deficiência (PCD).

A presença crescente das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) aponta para diferentes formas de relacionamento com o conhecimento e sua construção, assim como novas concepções e possibilidades pedagógicas (GALVÃO FILHO e DAMASCENO, 2008).

Considera-se, portanto, relevantes estes estudos, visto haver um grupo potencial de pessoas que poderiam se beneficiar com essas investigações, como se demonstra a seguir.

De acordo com os dados do Censo 2010 (IBGE, 2011), o Brasil possui cerca de 45,6 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, ou seja, 23,9% da população - quase ¼ das pessoas - declararam na data de referência da pesquisa que possuem algum grau de deficiência visual, auditiva, motora ou intelectual. Além

disso, é importante destacar que a proporção de pessoas com deficiência aumenta com a idade²⁶ (ASSITIVA, 2011).

Especificamente sobre as deficiências motoras, que é o universo dessa pesquisa, os dados preliminares do Censo 2010 (IBGE, 2011) classificaram-nas conforme mostra a Tabela 1:

TABELA 1: População residente, por tipo de deficiência motora

Tipo de Deficiência Motora				
Grau	Não consegue (Grave)	Grande dificuldade (Moderada)	Alguma dificuldade (Leve)	Total
Nº	740.456	3.701.790	8.831.723	13.273.969
%	0,39%	1,94%	4,63%	6,96%

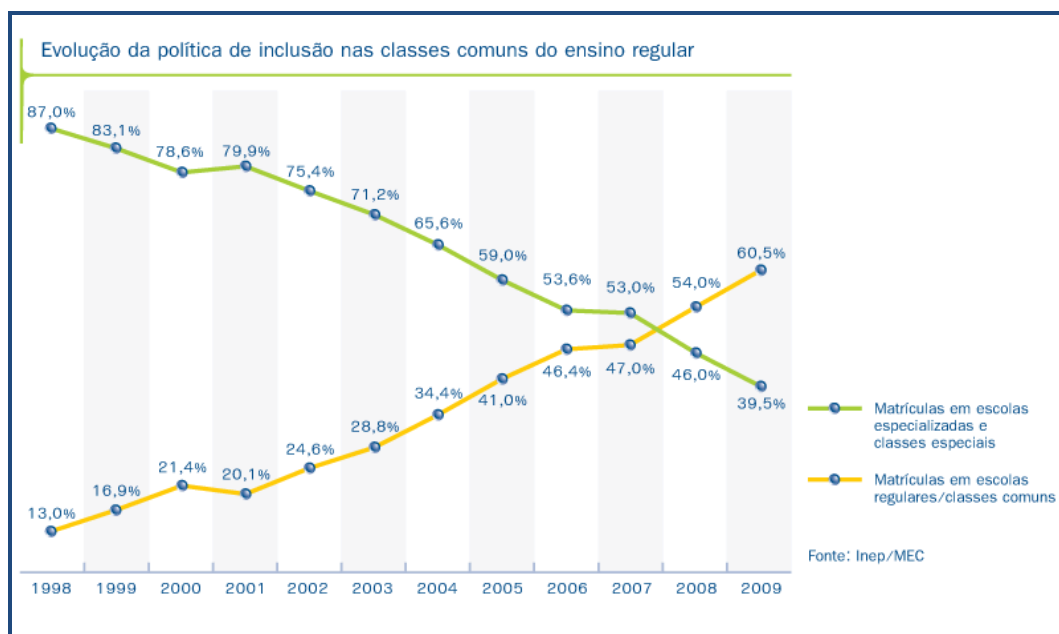
Fonte: adaptado da Tabela 1.1 do Censo 2010 (IBGE, 2011).

Nesta Tabela (1) verifica-se que as pessoas com deficiência motora representam quase 7% da população total brasileira. Porém, considerando que os usuários potenciais ao uso de tecnologia assistiva para escrita através da ICC estariam entre [a] "Não consegue de modo algum" e [b] "Grande dificuldade", essa percentagem diminui para 2,33%, mas mesmo assim se referem a 4.442.246 de pessoas.

Como o foco dessa pesquisa é a ação de se comunicar por meio da escrita, e esta necessidade pode surgir no contexto escolar, é pertinente verificar que esse número censitário ainda diminui nesse âmbito, pois nem todas as pessoas com deficiência estão em fase escolar ou incluídas na escola.

Convém destacar que, após um olhar na inclusão social da pessoa com deficiência, a partir de políticas públicas nacionais de direitos humanos e de escolarização inclusiva, o Censo Escolar registrou em 2006 um número de matrículas de 325.316 alunos de educação especial nas escolas comuns (MEC, 2010). O Gráfico 1 mostra a evolução da política de inclusão nas classes comuns do ensino regular no período de 1998 a 2009, mostrando um decréscimo de matrículas nas escolas especiais e acréscimos nas comuns.

²⁶ O envelhecimento decorre de processo de desgaste do corpo, por isso surgem limitações que antes não eram presentes na pessoa, como visual, motora, cognitiva e outras.

GRÁFICO 1: Evolução da política de inclusão

Fonte: INEP/MEC 2010.

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) e o Ministério da Educação (MEC) não publicaram dados atualizados de livre acesso²⁷ de matrículas de alunos com deficiência. No entanto, através do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), Financiamento da Educação (FUNDEB), é possível levantar o número de Matrícula desses alunos, somando os coeficientes de distribuição de recursos e receita anual prevista por Estado e Município - 2011 (com base na Portaria Interministerial nº 477, de 28/04/2011). Então, verifica-se na Tabela 2 o número de matrícula de alunos com deficiência em 2011.

TABELA 2 – Matrículas de alunos com deficiência em 2011

MATRÍCULAS DA EDUCAÇÃO BÁSICA	
Consideradas no FUNDEB em 2011	
Educação Especial	Atendimento Educacional Especializado
462.188	124.572

Fonte: Financiamento da Educação - FUNDEB (FNDE, 2011).

Visualiza-se, nesses dados, que de 325 mil matrículas de alunos com

²⁷ É necessário Login e Senha de dirigentes educacionais para acesso ao Educacenso.

deficiência passou-se para 462.188, representando uma evolução de 42%.

Considerando o foco dessa pesquisa, esse número diminuiria bastante se houvesse dados censitários do quanto dessas pessoas necessitariam de uma Tecnologia Assistiva para escrever. Mas se levar em consideração a dignidade da pessoa humana²⁸, e houvesse apenas o último dígito dessa quantia (o 8 dos 462.188), ainda assim justificaria a razão desta tese. Como diriam os preceitos canônicos que subsidiaram as primeiras reflexões em torno da dignidade humana:

Se porventura de cinquenta justos faltarem cinco, destruirás toda a cidade por causa dos cinco? Respondeu ele: Não a destruirei, se eu achar ali quarenta e cinco.

Tornou-lhe Abraão, dizendo: Eis que agora me atrevi a falar ao Senhor, ainda que sou pó e cinza.

Continuou Abraão ainda a falar-lhe, e disse: Se porventura se acharem ali quarenta? Mais uma vez assentiu: Por causa dos quarenta não o farei.

Disse Abraão: Ora, não se ire o Senhor, se eu ainda falar. Se porventura se acharem ali trinta? De novo assentiu: Não o farei, se achar ali trinta.

Tornou Abraão: Eis que outra vez me a atrevi a falar ao Senhor. Se porventura se acharem ali vinte? Respondeu-lhe: Por causa dos vinte não a destruirei.

Disse ainda Abraão: Ora, não se ire o Senhor, pois só mais esta vez falarei. Se porventura se acharem ali dez? Ainda assentiu o Senhor: Por causa dos dez não a destruirei (Gn 18:26-32).

Por isso, se considerar essa população brasileira como digna de atenção e como usuária potencial de tecnologias que favoreçam sua comunicação e inclusão social, a acessibilidade é urgência em soluções que deem conta de promover a cidadania mediada por tecnologias (BARANAUSKAS e DE SOUZA, 2006). Sendo assim, infere-se que 740 mil seja um número bem expressivo de usuários para levar em consideração quando o assunto é acessibilidade e tecnologia assistiva.

Conforme a severidade da dificuldade motora, a pessoa pode estar com seus movimentos de membros ou face limitados ou impedidos, interferindo em sua comunicação e atividades. Representam 740.456 pessoas nessa condição, em que

²⁸ O conceito de dignidade humana decorre de influências legais advindas do Direito Romano e do Direito Canônico, mas que estes, na verdade, funcionaram como um efetivo transmissor das regras judaicas (Leis Hebraicas), não só para o Brasil, como também para as legislações ocidentais. Atribuiu-se ao pensamento estoico e ao cristianismo os primeiros registros do tema. Com o advento do Cristianismo, a ideia ganha grande reforço, pois, entendeu-se o humano como criado à imagem e semelhança de Deus. Violar a dignidade da criatura seria, portanto, violação à vontade do próprio Criador. Na Idade Média, Tomás de Aquino foi o principal pensador a dedicar-se ao estudo. Na Idade Moderna, Pico Della Mirandola, desenvolve o princípio, sendo pioneiro ao dar-lhe significação fora da teologia. Com os horrores perpetrados durante a Segunda Guerra Mundial, o pensamento Kantiano ganha grande reforço. Desta forma, o princípio da dignidade da pessoa humana foi positivado na maioria das Constituições do pós-guerra, bem como na Declaração Universal das Nações Unidas (1948). Em nosso ordenamento, foi positivado pela Constituição da República de 1988. *Sobre o conceito vide Sarlet (2012).*

a Interface Cérebro Computador – ICC (*Brain Computer Interface – BCI*) pode ser uma técnica de auxílio, visto que estabelece comunicação por impulsos elétricos entre o cérebro humano e as máquinas eletrônicas. Um dispositivo externo capta sinais elétricos das ondas cerebrais que podem ser detectados do escalpo, da superfície cortical, ou de áreas subcorticais cerebrais para ativar outros dispositivos, tais como computadores, interruptores ou próteses, permitindo que os usuários consigam comunicar-se com o mundo exterior.

Desta forma, esta pesquisa considerou como seu Objetivo Geral, o de investigar como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave. Para tanto, dentre alguns passos e objetivos específicos²⁹ seguiram-se os de descrever requisitos de software básicos para uso de uma ICC e desenvolve-la junto à PCD; avaliar a potencialidade da Interface na dimensão de favorecer a comunicação de forma alternativa do usuário; e apresentar contribuições para o desenvolvimento de uma sociedade mais inclusiva.

1.2 PROBLEMÁTICA E OBJETIVOS DE PESQUISA

Os fatores apontados na contextualização justificam a pesquisa de desenvolvimento de uma tecnologia que favoreça a escrita de pessoas que possuem deficiência física e dificuldade motora para comunicação. O desenvolvimento de tecnologias para pessoa com deficiência grave ainda é muito tímida, sobretudo àquelas pessoas que, por doença ou lesões neurológicas, ficam sem conseguir se movimentar, falar ou se expressar, porém mantém-se consciente e intelectualmente ativa, ficando presas dentro de si mesmas e, muitas vezes, sendo consideradas vegetativas, isto é, vivendo uma vida puramente física, sem atividade mental. Essas pessoas, nesse contexto, parece receber os cuidados para manterem-nas vivas, mas não recebem instrumentos que as possibilitem comunicar o que ouvem, veem, sentem, pensam ou desejam, que podem ajudar a melhorar a qualidade de vida desses sujeitos na medida em que puderem interagir.

A utilização das ondas cerebrais pode ser usada nesse processo, pois a

²⁹ Os objetivos são descritos completamente no Capítulo 4.

ordem elétrica do córtex existe mesmo que não consiga exercer um movimento motor. No entanto, leitores eletroencefalográficos têm sido utilizados, no geral, para exames clínicos e para desenvolvimento de jogos eletrônicos, mas muito pouco para o desenvolvimento ou aprimoramento de Tecnologia Assistiva para pessoa com deficiência em grau grave.

Investiga-se, portanto, como se desenvolve a interação entre uma Interface Cérebro Computador e sujeitos com incapacidade motora grave, com vistas à comunicação.

Para tanto, aproveitou-se um dispositivo portátil de leitura de ondas cerebrais já existente no mercado de jogos (o Muse™), e construiu-se um sistema de ICC (que se denominou MuseKey) que, mediante a vontade do sujeito captado por impulso elétrico, aciona letras de um teclado virtual por meio de rastreamento de teclas, possibilitando que, assim, o sujeito construa palavras e frases que o expressem.

Especificamente, este trabalho buscou:

- Desenvolver uma Interface Cérebro Computador junto à PCD;
- Observar e analisar o processo de interação da PCD com uma Interface Cérebro Computador, na dimensão da escrita;
- Promover a interação do usuário a se comunicar de forma alternativa com seu ambiente social;
- Descrever requisitos de software básicos para qualidade em uso da ICC;
- Descrever a aprendizagem cognitiva para o controle de frequência das ondas cerebrais durante o processo de treino e uso.

Com o intuito de elucidar de forma mais aprofundada os aspectos desta investigação, apresentam-se nos próximos capítulos as fundamentações teóricas utilizadas para sua estruturação.

2 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA E TECNOLOGIA ASSISTIVA - *Participo, e mostro que existo*

Toda forma de aviltamento ou de degradação do ser humano é injusta. Toda injustiça é indigna e, sendo assim, desumana (ROCHA, 1999).

A compreensão das políticas de inclusão social surge em oposição ao conceito de exclusão. Dessa forma, importa uma exposição que faça essa relação entre exclusão e inclusão. Por isso, inicialmente, antes de aprofundar nas questões de pessoas com deficiência e o paradigma da inclusão e Tecnologia Assistiva, é necessário fazer uma retrospectiva histórica de como se constituiu a posição³⁰ sociocultural da pessoa com deficiência para, então, se ter a dimensão do entendimento e da representação que a sociedade tem sobre essa pessoa.

Se a inclusão, para alguns, implica em um processo longo e dispendioso, esses mesmos deveriam fazer contas ao preço da trajetória histórica da exclusão (RODRIGUES, 2003). Precisa-se, então, reportar ao passado e localizar nas diferentes épocas o *'retrato'* que se fixou, culturalmente, sobre a ideia das diferenças individuais. “[...] podemos destacar a compreensão de que somos sujeitos imersos em processos históricos complexos, produtores e produzidos por tais processos” (BAPTISTA, 2006, p.23).

Nesse sentido, resume-se³¹ no Quadro 1 a postura, a conduta e os mitos de diferentes povos, em diferentes épocas, que foram moldando a visão e a cultura da sociedade contemporânea frente à pessoa com deficiência.

QUADRO 1: Condutas de diferentes povos frente à pessoa com deficiência.

POVOS	CONDUTAS FRENTE ÀS PCD
POVOS PRIMITIVOS	Exterminavam a PCD por considerá-las grave empecilho à sobrevivência do grupo (FONSECA, 1997). Adultos e crianças com deficiência eram exterminados pela maioria dos povos primitivos, abandonados, asfixiados, afogados e queimados vivos (MULLER, 1997).
TRIBO XAGA (DA TANZÂNIA / ÁFRICA)	Respeitavam. Pois acreditavam que os maus espíritos habitavam nas PCD e nelas arquitetavam e se deliciavam para, assim, tornar possível a normalidade aos demais membros da tribo (CARMO, 1991).

³⁰ Vide teoria da psicologia da posição, em Alfred Adler (*Superiority and Social Interest*, 1964). Esse autor propõe que a pessoa com deficiência (defecto) se desenvolverá conforme a sociedade a vê. Assim, se ela é vista com menos-valia, o complexo psicológico que surge a faz incapaz. Se ela for vista com respeito especial, se desenvolverá nela mecanismos de adaptação social, surgindo meios de compensação para superar suas limitações.

³¹ Não há aqui, pela exiguidade determinada pelo foco do trabalho, a pretensão de esgotar-se o tema.

ESQUIMÓS	Lançavam os deficientes e os idosos nas áreas fronteiriças do Canadá, onde havia ursos brancos (tratados como sagrados); deste modo eliminavam o “problema” da fome destes animais e da tribo em si, pela eliminação do indivíduo indesejado em seu meio (CARMO, 1991).
SIRIONOS (ANTIGOS HABITANTES DAS SELVAS DA BOLÍVIA)	Por suas características de povo seminômade não se podia dar “o luxo” de transportar doentes e deficientes, abandonando-os à própria sorte (FONSECA, 1997).
ASTECAS	Segregavam os deficientes em campos semelhantes a jardins zoológicos para que fossem ridicularizados (FONSECA, 1997).
HEBREUS	O homem é “imagem e semelhança a Deus”, mas marginalizavam e segregavam os deficientes, visto que as deficiências eram oriundas do pecado dos pais (AZEVEDO e MORI, 2005).
GREGOS, ROMANOS E ESPARTANOS	Negavam qualquer critério à vida de alguém que nascesse com alguma anomalia (MULLER, 1997). A Lei das XII Tábuas, na Roma antiga, autorizava os patriarcas a matar seus filhos defeituosos, o mesmo ocorrendo em Esparta, onde os recém-nascidos, frágeis ou deficientes, eram lançados do alto do Taigeto (FONSECA, 1997).
EGÍPCIOS	Pessoas com deficiência viviam uma vida social normal, apesar de a deficiência ser vista como consequência de maus espíritos (MULLER, 1997).
HINDUS	Consideraram os cegos como pessoas de sensibilidade interior mais aguçada, justamente pela falta de visão, e estimulavam o ingresso dos deficientes visuais nas funções religiosas (FONSECA, 1997).
ATENIENSES	Por influência de Aristóteles, protegiam seus doentes e os deficientes, sustentando-os até mesmo por meio de sistema semelhante à Previdência Social (FONSECA, 1997).
ROMANOS DO TEMPO DO IMPÉRIO	Readaptação dos deficientes para o trabalho que lhes fosse apropriado (FONSECA, 1997).
IGREJA CATÓLICA NA IDADE MÉDIA	A PCD, neste período, estava inserida na ideia presumida de manifestação demoníaca (AMARAL, 1993). Há ignorância científica para esclarecer as doenças do indivíduo que já era, por natureza, possesso por entidades malignas (CARMO, 1991).
CRISTIANISMO	Os senhores feudais amparavam os deficientes e os doentes em casas de assistências por eles mantidas. Surgem ideias de perdão do pecado e amor ao próximo (SARLET, 2012).

Fonte: próprio autor (2012).

Como se vê, na história humana há exemplos opostos de condutas de

diferentes povos frente à pessoa com deficiência: uns que excluía essas pessoas, outros que cuidaram de seus deficientes e outros que evoluíram moral e socialmente, mudando de conduta. Com bases nisso, pode-se descrever como surgiu o perfil do cidadão perfeito, "normal", que dominaria os demais "anormais", que não toleraria a fraqueza e a repugnância daquele que se apresentasse "feio".

Dessa trajetória histórica, e remetendo-se aos dias de hoje, cita-se três realidades diferentes:

- 1) pessoas com deficiência que são "cuidadas" exclusivamente em casa;
- 2) outras que recebem apoio socioeducacional em instituições especializadas, separadas das demais pessoas sem deficiência; e
- 3) outras que estão na escola comum e/ou no convívio social com todos.

A situação 1 pode equivaler-se à atividade dos povos primitivos, sendo "asfixiadas" na superproteção e sendo empecilho à sobrevivência do grupo (família);

A situação 2, de colocar PCD em instituições que segregam, pode equivaler-se a postura dos Astecas, pois em algumas instituições não há uma proposta inclusiva. O sentimento de pena pode equivaler à postura da Tribo Xaga, pois se deliciam com suas generosidades, sentindo-se bem por não terem o mesmo "problema", avivando sua "normalidade".

Na situação 3, ainda há muito que se caminhar da integração à inclusão verdadeira, pois "aceitam" alunos com deficiência nos contextos sociais, mas os veem como os egípcios, ou seja, apenas estão pertos, mas não estão próximos. Nessa realidade, ao deixar de conduzir um aluno às atividades escolares, como ao ato de escrever e de se apropriar de sua autonomia na construção da escrita, seria como deixá-lo no caminho, como faziam os nômades Sirionos para não terem trabalho.

Claro que existe uma infinidade de diferentes casos, situações, instituições e famílias, por isso, esse comparativo não pode ser visto com generalização, nem como afronta aos que resistem à inclusão total, mas podem ser vistos como metáforas dos resquícios históricos de postura.

Fica evidente perceber que a PCD esteve sujeita em meio aos vários aspectos do entendimento social diante do seu "estar no mundo". Isto pode ser descrito como períodos que vão da perplexidade e misticismo até aos encaminhamentos assistenciais (CARMO, 1991).

Mas foi com o Renascimento que os fundamentos humanísticos exigiram

que a postura diante da pesquisa naturalista sobre os males físicos, de certa forma, avançasse. A visão assistencialista cedeu lugar, definitivamente, à postura profissionalizante e integrativa das pessoas com deficiência. A maneira científica da percepção da realidade daquela época começou derrubar o estigma social que influenciava o tratamento às pessoas com deficiência, e a busca racional da integração se fez por várias leis que passaram a ser promulgadas (FONSECA, 1997).

Essas leis foram surgindo através de novas formas de pensar e agir sobre a deficiência, a partir de diversos movimentos em defesa dos direitos da dignidade humana, constituindo-se como Marcos Legais de inclusão em combate à exclusão. Tais marcos, por sua vez, são devolvidos à sociedade como conjunto de normas da vida, que busca expressar e também alcançar um ideal de justiça, traçando as fronteiras do ilegal e do obrigatório.

2.1 MARCOS LEGAIS EM BUSCA DE UMA NOVA SOCIEDADE

A partir dessa visão histórica, a dignidade humana da pessoa com deficiência passou a ser pauta de discussões internacionais, que mais tarde as suas publicações afetam as políticas públicas brasileiras. Dentre essas discussões levantaram-se documentos e tratados que cabe fazer referência em ordem cronológica³² no Quadro 2:

QUADRO 2: Marcos Legais³³ de políticas de inclusão em combate à exclusão.

ANO	DOCUMENTO
1948	Declaração Universal dos Direitos Humanos.
1981	Declaração de Cuenca, Equador.
1981	Declaração de Princípios.
1982	Programa Mundial de Ação Concernente às Pessoas com Deficiência.
1983	Declaração de Cave Hill, Barbados.
1983	Convenção Organização Internacional do Trabalho (OIT) 159 ³⁴ .
1983	Década das pessoas com deficiência nas Nações Unidas, 1983 ³⁵ -1992.
1988 - BRA	Constituição da República Federativa do Brasil.
1989 - BRA	Lei Federal nº 7.853/1989.

³² Indicar-se-á “BRA”, após o ano, quando se tratar de Marco Legal Nacional Brasileiro.

³³ Para uma visão mais detalhada, vide: DUSIK, C.L. **Marcos Legais**. Disponível no blog: <http://pcdmarcoslegais.blogspot.com>

³⁴ O Brasil ratificou 9 anos depois, pelo Decreto n.º 129, de 22 de maio de 1991.

³⁵ A constituição brasileira foi criada entre meios desse marco internacional, em 1988.

ANO	DOCUMENTO
1990	Declaração de Jomtien/Tailândia
1990 - BRA	Lei Federal nº 8.069/90 - Estatuto da Criança e do Adolescente ECA
1991	Declaração de Washington.
1991	Programa de Ação Mundial para as Pessoas Deficientes, da ONU.
1993	Normas para Equiparação de Oportunidades para PCD da ONU.
1994	Declaração de Salamanca. Princípios, Políticas e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais.
1996 - BRA	Lei Federal nº 9.394/96. LDBEN. Capítulo V.
1999	Convenção da Guatemala.
1999	Carta para o Terceiro Milênio da Reabilitação Internacional.
1999 - BRA	Decreto Federal nº 3.298 de 20/12/1999 regulamenta a Lei nº 7.853/89
2000 - BRA	Leis Federais 10.048 e 10.098 ³⁶ .
2000 - BRA	Lei Federal nº 10.226.
2002	Declaração de Madri.
2002	Declaração de Caracas ³⁷ .
2002	Declaração de Sapporo, Japão.
2002 - BRA	Lei Federal nº 10.436.
2003	Declaração de Quito.
2003	Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência
2003 - BRA	Lei Federal nº 10.690.
2004 - BRA	Decreto Federal nº 5.296.
2005 - BRA	Lei Federal nº 11.126.
2005 - BRA	Lei Federal nº 11.133.
2005 - BRA	Decreto de 14 de julho de 2005.
2006 - BRA	Portaria nº 142 de 16/11/2006.
2008 - BRA	Política Nacional de Educ Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva
2008 - BRA	Decreto Federal nº 6.571. Revogado pelo Decreto nº 7.611, de 2011.
2009 - BRA	Resolução CNE ³⁸ nº 4; Decreto 6.949 ³⁹
2010 - BRA	Nota Técnica – SEESP/GAB nº 9.
2011 - BRA	Decreto Federal nº 7.611.
2015 - BRA	Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da PCD

Fonte: próprio autor (2012/2018).

Essas leis e documentos foram constituindo-se como marcos que demarcavam os limites da incoerência e injustiça humana, abrindo portas para fronteiras ainda não delimitadas em busca da igualdade e respeito frente à diversidade humana. É uma busca de um “Viver sem limites”⁴⁰, que demarca uma fase de transição entre a velha e a nova sociedade, reparando erros do passado até que nuances legais específicas para grupos mais vulneráveis não sejam mais

³⁶ Ambas regulamentadas pelo Decreto nº 5.296/2004.

³⁷ Documento que marca o início da Reforma Psiquiátrica, na atenção à saúde mental nas Américas. Movimento semelhante ao da reforma educacional. Enquanto a reforma psiquiátrica preconiza o não asilamento e o atendimento ao paciente psiquiátrico preferencialmente nos hospitais gerais, a reforma educacional preconiza o atendimento educacional especializado preferencialmente na escola comum.

³⁸ CNE - Conselho Nacional de Educação.

³⁹ Promulga a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007.

⁴⁰ Alusão ao Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência “Viver Sem Limites”, anunciado pela Presidente da República, Exma.Sra Dilma Roussef, em 17/11/2011.

necessários.

O Brasil possui os marcos legais mais modernos de direitos da pessoa com deficiência. A existência desta estrutura legal, afora toda a legislação estadual e municipal que trata dos direitos da pessoa com deficiência, deve-se, principalmente, a luta do movimento de pessoas com deficiência, continuamente mobilizada em prol da garantia de seus direitos e dos Princípios básicos: dignidade inerente à pessoa humana; autonomia individual incluindo a liberdade de fazer suas próprias escolhas e a independência das pessoas; não-discriminação; participação plena e efetiva na sociedade; respeito pela diferença e aceitação da deficiência como parte da diversidade e da condição humana; igualdade de oportunidades; acessibilidade; igualdade entre o homem e a mulher e do respeito pelas capacidades em desenvolvimento de crianças com deficiência.

Os esforços dos movimentos em defesa dos direitos das pessoas com deficiências vêm sendo direcionados para permitir a elas o exercício da autonomia, sendo que o objetivo dessa proposta deve ser equipar essa população para lutar pela garantia de serviços necessários à garantia de sua qualidade de vida, assegurando direitos humanos e legais estabelecidos.

Com esse objetivo, no país e no mundo os movimentos DE e PARA pessoas com deficiências agregam os mais variados tipos de indivíduos e executam os mais variados trabalhos que objetivam a conquista da cidadania, ponto máximo da inclusão social.

Foi a partir da reflexão sobre esses fatos historicamente condenáveis que se percebe a evolução de condutas e conceitos acerca das pessoas com deficiência. Portanto, hoje já não cabe mais discriminar ou excluir, pois atitudes como estas se tornam desajustadas.

Assim, acerca dos fundamentos das neurociências, da cidadania, dos direitos humanos e do reconhecimento do direito à igualdade e às diferenças, o Brasil adota o paradigma da inclusão. Caminha na construção de um sistema educacional inclusivo, transformando as políticas e práticas educacionais para assegurar o pleno acesso à educação de forma que todos os alunos possam aprender e participar com as demais pessoas de sua comunidade (MEC, 2008). Perante isso, só há uma saída: reinventar o futuro, abrir um novo horizonte de possibilidades, cartografado por alternativas radicais às que deixaram de o ser. Com isso, assume-se que há uma fase de crise paradigmática e, portanto, de transição

entre paradigmas epistemológicos, sociais, políticos e culturais (BOAVENTURA SANTOS, 1997).

Todo este detalhamento histórico mostra como se constituiu os modelos posturais frente à PCD e a exigência de novos paradigmas.

2.2 O PARADIGMA DA EDUCAÇÃO INCLUSIVA

A concepção de educação inclusiva que orienta as políticas educacionais e os atuais marcos normativos e legais rompe com uma trajetória de exclusão e segregação das pessoas com deficiência, alterando as práticas educacionais para garantir a igualdade de acesso e permanência na escola (ROPOLI, 2010, p.7).

Dessa forma, a Educação Inclusiva tem sido pauta em todos os níveis e modalidades do sistema educacional, em que se discute em como a escola encarará a diversidade e ensinará aos alunos que possuem deficiência. Por muito tempo perdurou o entendimento de que a educação especial, organizada de forma paralela à educação comum, seria o espaço mais apropriado para a aprendizagem desses alunos. Essa concepção exerceu impacto duradouro na história da educação especial, resultando em práticas que enfatizavam os aspectos relacionados à deficiência, em contraposição à dimensão pedagógica. Até então, as alternativas e modalidades de atendimento escolar a PCD seguiam um padrão segregador e centralizador, pautado na discriminação e exclusão. Assim, a convivência de alunos com deficiência restringia-se ao convívio com alunos na mesma condição, em escolas separadas, sem contato com a escola comum. Segundo Mazzota (2003, p.16) “o conceito de diferenças individuais não era compreendido ou avaliado. As noções de democracia e igualdade eram ainda meras centelhas na imaginação de alguns indivíduos criados”.

Este estudo discorre sobre pessoas com deficiência física que apresentam incapacidade motora grave para comunicação, com vista a diminuir essa disfuncionalidade e promover sua inclusão. Possibilitar ou facilitar a comunicação dessas pessoas é uma questão de direitos humanos, e a tecnologia assistiva contribui como área de conhecimento. Inclusão é um direito nacional e internacionalmente reconhecido,

que são atribuídos às pessoas pelo simples fato da sua condição humana,

tais como, os direitos humanos reconhecidos pela Declaração Universal dos Direitos Humanos das Nações Unidas (1948) e as Normas Padronizadas para a Igualdade de Oportunidades para Pessoas com Incapacidades (1993); o direito à autodeterminação ou autonomia; e o direito de controlar o próprio destino (ONU/CIF, 2004, p.150).

O poder institucional que presidiu a produção das identidades e das diferenças definiu como normais e especiais não apenas os alunos, como também as suas escolas. Os alunos das escolas comuns são normais e positivamente valorados. Os alunos das escolas especiais são os negativamente concebidos e diferenciados (MEC, 2010).

No entanto, o desenvolvimento de estudos no campo da educação e a defesa dos direitos humanos vêm modificando os conceitos, as legislações e as práticas pedagógicas, promovendo a reestruturação do ensino comum e do ensino especial. A definição das necessidades educacionais especiais passou a ser amplamente rediscutida.

Ao ressaltar a interação das características individuais com o ambiente, o conceito de necessidades educacionais especiais desloca a ênfase das deficiências e desvantagens centradas exclusivamente no aluno para a escola e para o contexto. Assim, proclamou-se a possibilidade de organização de um sistema educacional capaz de definir estratégias, recursos e serviços para atender às especificidades dos alunos e produzir diferentes respostas da escola.

Dessa trajetória, Mazzotta (1996) diferenciou três períodos importantes que ocorreram no Brasil, das quais se pode diferenciar conforme a Tabela 3:

TABELA 3: Períodos de governo em favor ao aluno com deficiência

PERÍODO	ANO	CARACTERIZAÇÃO
Primeiro Período	1854/1956	Iniciativas particulares isoladas, não havendo nenhuma campanha nacional.
Segundo Período	1957/1993	Incentivos públicos relacionados às políticas para Pessoa com deficiência, com a “finalidade de promover em todo o território nacional a expansão e melhoria do atendimento aos excepcionais”.
Terceiro Período	1994/	Movimentos do governo em favor da inclusão escolar.

Fonte: com base em Mazzotta (1996).

A partir da década de 90 reafirma-se o compromisso com a educação para todos. Assim, o paradigma da educação inclusiva trata-se de uma reestruturação da cultura, da prática e das políticas vivenciadas nas escolas de modo que estas respondam à diversidade de alunos. A prática pedagógica é coletiva, multifacetada, dinâmica e flexível, que requer mudanças significativas na estrutura e no funcionamento das escolas, na formação humana dos professores e nas relações família-escola. Com força transformadora, a educação inclusiva aponta para uma sociedade inclusiva.

A construção de uma sociedade inclusiva exige mudanças de ideias e práticas, por isso o Ministério da Educação apoia a implementação de uma nova prática social que viabilize escolas inclusivas que atendam a todos, independentes das suas necessidades educacionais especiais, de forma a garantir a participação. De acordo com isso, Mantoan (2003) refere que a inclusão é uma possibilidade que se abre para o aperfeiçoamento da Educação Escolar e para o benefício de todos os alunos, com e sem deficiência. Depende, contudo, de uma disponibilidade interna para enfrentar as inovações.

Ensinar é marcar um encontro com o outro e a inclusão escolar provoca, basicamente, uma mudança de atitude. É reconhecer que o outro é implacavelmente diferente, pois a diferença é o que existe, a igualdade é inventada e a valorização das diferenças impulsiona o progresso educacional. Quando falamos de Educação Inclusiva, estamos falando de colaboração, cooperação, solidariedade, mas é preciso vivenciar estes valores para que não fique só num discurso vazio, mas que consigamos colocar em prática.

Um exemplo comum de prática inclusiva é iniciar o trabalho organizando grupos heterogêneos de alunos, porque no ato de estar compartilhando as atividades no grupo vão se criando estratégias, e este movimento possibilita que entre os diferentes se estabeleçam regras e combinações para que juntos construam as respostas para as atividades. É na relação diária que podemos visualizar o estabelecimento e estreitamento de vínculos, melhoria no trato, respeito uns aos outros, que são alguns sinais do comprometimento que está se desenvolvendo e fortalecendo no grupo e na turma. Ambientes escolares inclusivos são fundamentados em uma concepção de identidade e diferenças, em que as relações entre ambas não se ordenam em torno de oposições binárias (normal/especial, branco/negro, masculino/feminino, pobre/rico). Neles não se elege uma identidade

como norma privilegiada em relação às demais (MEC, 2010).

A afirmação de Hugo Otto Beyer (2005, p.107) diz que:

Desta forma percebemos o quanto danoso é inserir crianças em grupos homogêneos, como ocorre nas escolas especiais. A criança é privada de beneficiar-se das competências cognitivas de outras crianças, que poderiam desempenhar papel mediador junto às zonas de desenvolvimento.

A crítica de Vygotsky (1997, p.225) é muito clara:

Agora resulta evidente o quão profundamente antipedagógico é a regra segundo a qual, por comodidade, selecionamos coletividades homogêneas de crianças atrasadas. Ao proceder assim, não apenas vamos contra a tendência natural no desenvolvimento das crianças, senão que – o que é muito mais importante [...] não atenuamos senão que acrescentamos a causa imediata que determina o desenvolvimento incompleto de suas funções superiores.

É importante o professor ter clareza do que Vygotsky fala quanto ao desenvolvimento psicológico da criança, que tem como fundamental estrutura a sua vida social. Por isso que o autor traz nos seus livros que a educação proposta para as crianças com necessidades especiais seja marcada pela promoção variada e rica de suas vivências sociais. Observou que crianças que participam em grupos heterogêneos de variadas atividades constroem aprendizagens ricas em significados, tem melhor discernimento, se posiciona nas brincadeiras, aprendem a partilhar, a trabalhar em grupo respeitando as diferentes opiniões, assim como aprende também ensina, e é nesta troca que o ser se constitui e se completa.

A democratização do acesso foi ampliada, mas se não houver atenção para o ensino tradicional, que sempre foi pautado no aluno modelo ou ideal, ou seja, aqueles que supostamente acompanham o programa escolar transmitido, haverá continuidade do processo de exclusão, configurando um modelo que não está contribuindo para a aprendizagem, que continua a ser desumanizador.

Todos esses esclarecimentos mostram que a inclusão escolar é muito necessária para garantir uma educação mais democrática a todos os que dela participam, mas é um processo, e só se tornará realidade se todos os agentes envolvidos no processo educacional conseguirem transpor a legislação para a prática cotidiana. Nesse sentido, Beyer (2005) também coloca que:

De forma alguma [...] documentos legais, que fundamentam as diretrizes educacionais, poderão produzir qualquer transformação ou reforma educacional. Se não houver o comprometimento, a disposição, a convicção dos sujeitos participantes, pais, professores e gestores, de que a educação

inclusiva é o melhor caminho para uma inclusão social mais efetiva das crianças com deficiência, com o esforço e o sacrifício compartilhado entre cada um desses agentes, tal projeto fracassará (BEYER, 2005, p.63).

Uma das inovações trazidas pela Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (2008) é o Atendimento Educacional Especializado (AEE), um serviço da educação especial que "[...] identifica, elabora e organiza recursos pedagógicos e de acessibilidade, que eliminem as barreiras para a plena participação dos alunos, considerando suas necessidades específicas" (MEC/SEESP, 2008). O AEE complementa e/ou suplementa a formação do aluno, visando a sua autonomia na escola e fora dela. É realizado em um espaço físico denominado Sala de Recursos Multifuncionais (SRM), onde se propõem projetos escolares interdisciplinares que incluam a necessidade da Tecnologia Assistiva (TA).

Dentre as atribuições do professor de AEE destaca-se “ensinar e usar recursos de Tecnologia Assistiva, tais como: as tecnologias da informação e comunicação, a comunicação alternativa e aumentativa, a informática acessível, o soroban, os recursos ópticos e não ópticos, os softwares específicos, os códigos e linguagens, as atividades de orientação e mobilidade” (MEC/SEESP, 2009).

Conforme as Diretrizes do MEC sobre a escola comum inclusiva,

a escola comum se torna inclusiva quando reconhece as diferenças dos alunos diante do processo educativo e busca a **participação e o progresso de todos**, adotando novas práticas pedagógicas. Não é fácil e imediata a adoção dessas novas práticas, pois ela depende de mudanças que vão além da escola e da sala de aula. Para que essa escola possa se concretizar, é patente a necessidade de atualização e desenvolvimento de novos conceitos, assim como a redefinição e **a aplicação de alternativas** e práticas pedagógicas e educacionais compatíveis com a inclusão (ROPOLI, 2010, p.9). [*grifo nosso*]

2.3 O PARADIGMA DA SOCIEDADE INCLUSIVA

SOCIALIZAÇÃO: ação ou efeito de desenvolver, nos indivíduos de uma comunidade, o sentimento coletivo, o espírito de solidariedade social e de cooperação (HOUAISS, 2001).

Com viú-se, a educação inclusiva, com força transformadora, aponta para uma sociedade inclusiva. A escola toma o encargo de instruir e socializar as crianças e adolescentes. A escola como uma instituição tem por objetivo manter de pé a

máquina social, e até mesmo produzi-la, sendo um sistema de normas que estruturam um grupo social de forma a produzir, e reproduzir, as relações sociais (LAPASSADE, 1977).

Nérici (1977, p.206) diz que "a escola é um órgão específico de educação e tem sua vida orientada por dois polos: a família e a sociedade, que são a razão de ela existir". Quanto à sociedade, a ela esta presa. Logo, todas as atividades escolares devem se colocar a ela porque, em últimas análises, a ela são devolvidas. Assim, não tem sentido uma escola que não procure servir também a sociedade, formando um cidadão que nela tem de viver eticamente.

Como refere Pacheco,

no que tange à justiça social, ela se relaciona aos valores de igualdade e aceitação. As práticas pedagógicas em uma escola inclusiva precisam refletir uma abordagem mais diversificada, flexível e colaborativa do que em uma escola tradicional. A inclusão pressupõe que a escola se ajuste a todas as crianças que desejam matricular-se (2007 p.15).

Assim, a inclusão social é definida por Sasaki (2006, p. 13) como:

[...] o processo pelo qual a sociedade se adapta para poder incluir, em seus sistemas sociais gerais, pessoas com necessidades especiais e, simultaneamente estas se preparam para assumir seus papéis na sociedade. A inclusão social constitui, então, um processo bilateral no qual as pessoas, ainda excluídas, e a sociedade buscam, em parceria, equacionar problemas, decidir sobre soluções e efetivar a equiparação de oportunidades para todos [...].

Desta forma, a Educação Inclusiva veio contribuir nesse processo bilateral, para disseminar uma cultura antidiscriminatória das pessoas com deficiência, e seus benefícios não são somente sentidos pelas pessoas que eram excluídas, mas por toda a sociedade. Buscar esta nova maneira de enxergar as pessoas com necessidades educacionais especiais, revendo o conceito de sociedade, dando-lhe novo sentido e significado, é criar novos caminhos para que se construam aprendizagens solidárias, de forma cooperativa e fraterna⁴¹.

Sociedade inclusiva é uma sociedade para todos, independentemente de diferença ou deficiência, que acolhe e aprecia a diversidade da experiência humana. É uma sociedade aberta e acessível a todos os grupos, mas que também estimula a participação e ofereça oportunidades iguais para todos realizarem seu potencial

⁴¹ isto é, busca todas as camadas sociais, atinge todas as pessoas, sem exceção, respeitando-as em sua dignidade.

humano. O termo "sociedade inclusiva" coloca a sociedade como aquela que deve mudar para lidar com a diversidade humana (RATSKA, 1999).

As provisões para o bem-estar em geral são fatores que facilitam a inclusão na sociedade. Isso significa um sistema de instituições públicas que garantam a todos: educação, saúde, trabalho, locomoção, transporte, esporte, cultura e lazer, com acesso igual para todos (RATSKA, 1999).

É fundamental pensar sobre as dificuldades e as conquistas das PCD e pensar na possibilidade de concretização dos seus direitos, em soluções simples e concretas para que possam estar nas salas de aula; plena assistência à saúde; qualificação profissional; emprego; prática de esporte; cultura e lazer. Existem estudos demonstrando que muitos investimentos na área de inclusão de pessoas com deficiência levam a economias futuras para a sociedade, que ultrapassam em muito seus custos. Entretanto, direitos humanos básicos não devem ser discutidos em termos de custos ou de lucros (RATSKA, 1999).

Viver numa sociedade em que nenhuma PCD tenha de pedir esmolas; ou não sejam confinadas em instituições e possam viver com a família ou sozinhas; ou constituir sua própria família, que possam educar-se e trabalhar da mesma forma que seus irmãos e irmãs, amigos e vizinhos não deficientes; viver sabendo que uma deficiência não é uma catástrofe para o indivíduo e sua família, isso tudo eleva a qualidade de vida para todos (RATSKA, 1999).

Além das provisões gerais para o bem-estar, é necessário planejamento global de tudo aquilo que se relacionam com transporte, construções, ferramentas e instrumentos, informações, comunicações, mídia e cultura. Mas, mesmo após todas essas mudanças, ainda haverá pessoas que, para exercer todas as funções, precisam de serviços de tecnologia assistiva, ou de códigos e leitores, no caso de serem cegas, ou, ainda, de intérpretes de sinais se forem surdas (RATSKA, 1999). Muitas vezes, é necessária a utilização de equipamentos diversos que permitam melhor convívio, dadas as barreiras impostas pelo ambiente social.

Numa sociedade inclusiva, busca-se o Desenho Universal, este conceito que tem como objetivo definir projetos de produtos e ambientes que contemplem toda a diversidade humana, que cria mecanismos e ferramentas para trazer ao seio social um grupo de pessoas que estão à margem desse processo. O conceito de Desenho Universal se desenvolveu na Universidade da Carolina do Norte - EUA, com o objetivo de definir um projeto de produtos e ambientes para ser usado por todos, na

sua máxima extensão possível, que acomodam uma escala larga de preferências e de habilidades individuais ou sensoriais dos usuários. A meta é que qualquer ambiente ou produto poderá ser alcançado, manipulado e usado, independentemente do tamanho do corpo do indivíduo, sua postura ou sua mobilidade (CARLETTO e CAMBIAGHI, 2008).

Rom Mace (*apud* CARLETTO e CAMBIAGHI, 2008), estabeleceu os sete princípios do Desenho Universal, que são:

- Igualitário - uso equiparável (para pessoas com diferentes capacidades);
- Adaptável - uso flexível (com leque amplo de preferências e habilidades);
- Óbvio - simples e intuitivo (fácil de entender);
- Conhecido - informação perceptível (comunica eficazmente a informação necessária);
- Seguro - tolerante ao erro (que diminui riscos de ações involuntárias);
- Sem esforço - com pouca exigência de esforço físico;
- Abrangente - tamanho e espaço para o acesso e o uso.

A sociedade que vivemos é também a sociedade da informação. A condição para a Sociedade da Informação avançar é a possibilidade de todos poderem aceder às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), presentes no nosso cotidiano que constituem instrumentos indispensáveis às comunicações pessoais, de trabalho e de lazer (POLIZELLI e OZAKI, 2008).

Sociedade da informação é uma proposta multidisciplinar com influências de diferentes áreas de pensamento, como um escopo amplo que integra o uso de tecnologias de informática e comunicações (TIC) para a cooperação e compartilhamento de conhecimento entre os atores, a fim de disseminar a formação de competências na população (*Idem*, 2008, p.3).

Por isso, uma sociedade inclusiva precisa também favorecer a inclusão dos indivíduos à sociedade da informação. Há de falar-se, então, de Inclusão Digital, que é o processo de democratização do acesso às TIC, de forma a permitir a inserção de todos na sociedade da informação. Inclusão digital é também simplificar a sua rotina diária, maximizar o tempo e as suas potencialidades. Um incluído digitalmente não é aquele que apenas utiliza essa nova linguagem e suas ferramentas, que é o mundo digital, para trocar e-mails, mas aquele que usufrui desse suporte para melhorar as suas condições de vida (SILVEIRA e CASSIANO, 2003).

Entretanto, para que esta realidade se concretize, é preciso assegurar que a

diversidade humana tenha acesso a tais ferramentas e, para isso, se faz necessário observar diretrizes de acessibilidade no planejamento e construção desses recursos (DUSIK. *et al*, 2012).

Quando se fala em tecnologias, pensam-se em questões técnicas, circuitos, código de programação, máquinas, e pouco se concebe como algo de aspectos puramente humanos ou sociais. A computação tem um viés de conhecimento exato, mas também se utiliza o conhecimento como forma de socialização, o que se chama de Computação Social (*Social Computing*). Por mais que computadores sejam máquinas, e seus aplicativos sejam códigos de programação, são pessoas com emoções que os operam. Pessoas começaram a utilizar os computadores para desenvolver sistemas de interação social (TECMUNDO, 2012⁴²).

Toda essa concepção de sociedade, de interação social, de participação nas atividades humanas socioculturais é fundamental para compreender sua necessidade para o desenvolvimento psicológico do sujeito, e compreender como são prejudiciais para funções psicológicas superiores quando essas interações são limitadas (DUSIK, 2013).

Na visão sócio-histórica, o funcionamento psicológico tipicamente humano é cultural e, portanto, histórico. O ser humano transforma-se de biológico em histórico, num processo em que a cultura é parte essencial da constituição da natureza humana. Os elementos mediadores na relação entre homem e o mundo são construídos nas relações entre os homens (VYGOTSKY, 1988).

O ser humano pode constituir-se como sujeito de várias maneiras, dependendo das situações concretas em que vive. Mas é pela apropriação ativa, que se dá através de interações humanas organizadas em atividades, que os seres humanos constituem-se como sujeitos capazes de pensar autonomamente, distanciando-se de seu ambiente imediato para melhor analisá-lo, percebendo suas falhas e encaminhando soluções. Assim, na visão vygotskyniana, os espaços de interações humanas organizadas em atividades constituem-se privilegiados para que a pessoa se aproprie das conquistas das gerações precedentes, na medida em que nela se conta com o amparo e o auxílio de membros mais experientes da cultura, na difícil empreitada de construir uma visão própria e crítica do real (VYGOTSKY, 1988).

⁴² Leia mais em: TECMUNDO. O que é Social Computing? Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/rede-social/3323-o-que-e-social-computing-.htm>

O sujeito humano é constituído por aquilo que é herdado fisicamente e pela experiência individual, mas sua vida, seu trabalho e seu comportamento também se baseiam claramente na experiência histórica e social. Isto é, aquilo que não foi vivenciado pessoalmente pelo sujeito, mas está na experiência dos outros e nas conquistas acumuladas pelas gerações que o precederam.

O materialismo dialético encara o desenvolvimento humano como sendo constituído pelas circunstâncias do ambiente físico e social ao manterem entre si relações recíprocas e contínuas. Este princípio do desenvolvimento humano baseia-se numa inter-relação entre o meio social e as bases biológicas. Segundo Vygotsky (1998), essa relação é dialética no sentido que o meio afeta o indivíduo, provocando mudanças que serão refletidas novamente no meio, recomeçando o processo como se fosse uma espiral ascendente.

A concepção de aprendizagem e de desenvolvimento humano, alicerçada no paradigma sociointeracionista, perpassa então por três aspectos fundamentais que caracteriza o comportamento humano ao longo da vida do indivíduo (SANTAROSA, et al, 2010, p. 26):

- a) a relação entre os seres humanos e o seu ambiente físico e social: dimensão sociocognitiva;
- b) natureza das relações entre o uso de instrumentos e o desenvolvimento da linguagem: dimensão da comunicação e mediação;
- c) trabalho como meio de relacionamento entre o homem e a natureza e as consequências psicológicas: dimensão da cooperação, convivência e inclusão.

Vygotsky assume a posição de que o ser humano, tão logo nasce, vê-se envolvido em um mundo eminentemente social. É justamente em razão de encontrar-se embebido nesse entorno humanizado e, portanto, cultural e histórico, que o bebê humano pode sobreviver. Assim, todo trabalho do desenvolvimento consiste em converter o plano biológico, próprio da espécie, no plano social, mediante a cultura em que se processa. Essa cultura é internalizada⁴³ por meio de mecanismos de mediação simbólica⁴⁴, de maneira que, paulatinamente, o sujeito biológico converte-se em sujeito humano que, por sua vez, reestrutura também o

⁴³ O processo de transformação da aprendizagem de um processo que inicia social e vai tornando-se individual, foi chamado por Vygotsky de internalização.

⁴⁴ “mediação simbólica” assume a ideia da intermediação, que se encontra interposto entre uma coisa e outra. Neste sentido, a existência humana e seu contato com o meio, não se dá de forma direta, mas é feito através de instrumentos e signos.

plano do social. Postula-se, dessa forma, a presença de mecanismos de internalização, pelos quais, a partir do plano interpessoal, o sujeito eleva suas formas de ação individual, incidindo no plano social e, assim, sucessivamente.

Nesse desenvolvimento, Luria, Leontiev e Vygotsky (1996) destacam a importância da assimilação, ou "apropriação", da experiência acumulada pela humanidade no decorrer de sua história, ou seja, de sua cultura. Dessa forma, para Vygotsky, a inteligência tem origem social. Para ele, não é uma questão de que a socialização favoreça o desenvolvimento da inteligência, mas que a origina. Origina porque as funções psicológicas superiores⁴⁵ aparecem primeiro no plano interpessoal, mediante o processo de internalização, em que a linguagem desempenha um papel fundamental (ECHEITA e MARTIN, 1995).

Dessa maneira, percebe-se que os conceitos centrais que edificaram a matriz teórica de Vygotsky,

se alicerça no princípio de que o desenvolvimento humano é social e opera por meio da atividade. Desta maneira, o desenvolvimento da pessoa surge como resultado de sua imersão em um ambiente cultural e do próprio processo de apropriação que ela faz deste meio vinculado à atividade enquanto ser ativo. A atividade realizada em comum com pessoas mais experientes constitui um universo indispensável para que, por meio da interiorização, possa alcançar o domínio individual do seu próprio pensamento. Neste contexto interativo com o outro mais experiente, o sujeito menos especializado se apropria do saber especializado (SANTAROSA, *et al*, 2010, p. 26).

Esse outro mais experiente são os mediadores sociais que sua cultura lhe oferece, com suas maneiras de pensar, recordar, esquecer, decidir, perceber, argumentar, julgar e conceber. Assim, quanto maior for a diversidade intercultural e interindividual na construção das funções psicológicas, menos suscetível estará de ter uma cosmovisão etnocêntrica e limitada (ALVAREZ, 1997).

A partir dos signos, no conceito vygotksyniano, entende-se a mediação simbólica em dois aspectos importantes (VYGOTSKY, 1988): a) ela faz a mediação entre *meu eu* e o *mundo* por sua natureza semiótica, ou seja, por causa dos signos. Entre esses aspectos é importante ressaltar que existem signos que possuem uma existência concreta, como as metáforas usadas em ícones de aplicativos computacionais ou em placas de trânsito; b) quando os símbolos apresentam-se dentro de nosso mundo psicológico, mediando pensamento e linguagem com o

⁴⁵ as funções psicológicas superiores são o resultado da estimulação autogerada pela criação e uso de estímulos artificiais (signos) dentro de um contexto sociocultural.

mundo real, configurando assim uma das características peculiar do ser humano, a capacidade de representação mental.

Assim, pela mediação simbólica, o ser humano pode representar em sua mente aspectos do mundo real e tem a possibilidade de transitar, simbolicamente pelo tempo e pelo espaço. Através desta faculdade é possível imaginar situações, “coexperienciar” fatos, acontecimentos, imaginar e representar situações de modo simbólico e representativo em seu mundo psicológico, não sendo necessário fazer a experiência empírica. Permite assim que o homem evolua, pois não precisa refazer toda a trajetória da evolução humana (VYGOTSKY, 1988).

Quando essas funções psicológicas se tornam individuais, internalizadas, os meios para a comunicação social (signos/linguagens) são centrais para formar as complexas conexões psicológicas que surgem, e sem esses meios, o cérebro e suas conexões não poderiam se converter nas complexas relações. Assim, a linguagem interna é o próprio pensamento, e não se reflete na palavra, mas se realiza nela (VYGOTSKY, 1991).

A linguagem então possui duas funções básicas: primeira função é da comunicação, a outra é a generalização que surge no desenvolvimento da psicologia humana do encontro da pré-linguagem com o pré-pensamento. Essa função implica no uso da linguagem como mediação simbólica em uma visão generalizada do mundo. Por isso, a relação pensamento/linguagem é a chave para a compreensão da natureza da consciência humana (VYGOTSKY, 1991).

Todas essas características e a relação entre pensamento e linguagem são importantes para a evolução humana, possibilitando ao homem transitar pelo mundo simbólico, da imaginação, representando um salto qualitativo em direção ao desenvolvimento. Permite-lhe imaginar, abstrair, comparar e criar, se autoconstruindo como ser humano, como sujeito concreto, cuja consciência é constituída a partir de sua relação com um meio cultural mediado pela linguagem.

O ser humano “normal” é precisamente o ser humano “diverso”, e é isso que o enriquece enquanto espécie. Portanto, a normalidade é que os usuários sejam muito diferentes e que deem usos distintos aos previstos em projetos.

Portanto, para se buscar a participação e o progresso de todos, é necessário reconhecer as diferenças dos alunos com deficiência. Assim, segue-se a definição de deficiência física e, com foco na funcionalidade, desdobra-se a conceituação em "Capacidade Motora para Comunicação" e "Capacidade Mental para Comunicação".

Esses dados são relevantes para identificar o fator ambiental ou a estrutura do corpo que necessita de apoio da tecnologia assistiva e para compreender de como esta pode beneficiar o sujeito. Consequente, aborda-se a aplicação de alternativas que aqui se destaca: a tecnologia assistiva.

2.4 PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA

A Deficiência é a ausência ou disfunção de uma estrutura psíquica, fisiológica ou anatômica. Diz respeito à biologia da pessoa. A deficiência física causa uma desvantagem, resultante de um comprometimento ou de uma incapacidade, que limita ou impede o desempenho motor de determinada pessoa (FERNANDEZ *et al*, 2007).

Qualquer movimento humano, desde o mais simples, requer um sistema complexo de comunicação que envolve o cérebro, nervos e músculos. Quando uma área do sistema nervoso, que regula o movimento, apresenta uma lesão ou uma anormalidade, o indivíduo pode apresentar uma ampla variedade de distúrbios do movimento.

Mas esse conceito não enfoca as aptidões que a pessoa com deficiência também possui, apenas suas características disfuncionais ou incapacidades. Então, há que se observar que em contextos legais ela é utilizada de uma forma mais restrita, e refere-se a pessoas que estão sob o amparo de uma determinada legislação.

Assim, conforme Lei Federal nº 10.690/2003, Art. 1º, V, § 1º, é considerada pessoa com deficiência física

[...] aquela que apresenta alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de: paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções.

Suas causas podem ser:

- de origem encefálica: neste grupo inclui: Acidente Vascular Cerebral (AVC), a Paralisia Cerebral;

- de origem espinhal: esclerose múltipla⁴⁶, traumatismos com ruptura ou compressão medular, causando paraplegia, tetraplegia, Síndrome do Encarceramento⁴⁷, etc. Neste grupo ainda estão incluídas poliomielite, má-formação, como espinha bífida, por degeneração do neurônio motor, como a Síndrome de Werdnig-Hoffmann⁴⁸, etc;
- de origem muscular: especialmente a Distrofia Muscular Progressiva (a tipo Duchenne⁴⁹ é a mais comum); ou miopatia; anartria⁵⁰;
- de origem ósteo-articular: são aqui incluídas a luxação coxo-femural, artrogripose (contração permanente da articulação) múltipla, ausência congênita de membros ou partes de, formas distróficas como osteocondriosis (coxa plana), osteogenesis imperfecta (doença que fragiliza o tecido ósseo, popularmente chamada de “ossos de vidro”);
- de origem neuroquímica: disfunções glandulares, hormonais e neurotransmissores podem causar disfunções motoras como Doença de Parkinson, de Huntington, Síndrome de Tourette e Distonias do Movimento, como a Síndrome do Escrivão⁵¹. Uso de drogas (medicamentosas ou não) podem causar Dyskinesias, que significam

⁴⁶ A esclerose lateral amiotrófica (ELA) é uma doença neurodegenerativa fatal, que acomete os neurônios motores, responsáveis pelos movimentos voluntários. É caracterizada pela perda progressiva da força muscular, que afeta os movimentos, a fala e a deglutição, causando paralisia (MACHADO, 2012).

⁴⁷ A Síndrome do Encarceramento (SdE), extremamente rara, caracteriza-se pela paralisção completa dos músculos do corpo, com exceção dos músculos que controlam alguns movimentos verticais dos olhos e elevação palpebral. Isso ocorre porque as fibras eferentes provenientes do córtex cerebral não são capazes de alcançar o seu destino, pois são interrompidas na altura da Ponte (Bulbo), levando a sintomas como tetraplegia e anartria, com preservação da consciência e sensibilidade. Essa síndrome é caracterizada por uma incapacidade do paciente em se comunicar, embora esteja consciente e consiga pensar e raciocinar (FILHO e GOMES, 1982).

⁴⁸ Síndrome de Werdnig-Hoffmann: faz parte de um grupo de patologias conhecido como Aтроfias Musculares Espinhais (AME), é uma rara desordem neuromuscular progressiva. É caracterizada pela degeneração dos grupos de células neurais do núcleo motor, levando a perda da função muscular. Os pacientes apresentam, também, perda do suporte da cabeça e do seu próprio peso, com pequena ou nenhuma movimentação, um quadro de paralisia flácida. A atividade muscular diminui progressivamente e, com o tempo, atinge também a musculatura respiratória.

⁴⁹ Distrofia Muscular Progressiva tipo Duchenne: Ela é uma doença motora e se diferencia das demais porque qualquer esforço muscular que cause o mínimo de fadiga, contribui para a deterioração do tecido muscular. Isto porque o defeito genético ocorre pela ausência ou formação inadequada de proteínas essenciais para o funcionamento da fisiologia da célula muscular.

⁵⁰ Dificuldade ou impossibilidade de articular palavras, por efeito da paralisia de certos músculos (AMORA, 2009).

⁵¹ Síndrome do Escrivão: caracteriza-se por contrações musculares involuntárias da musculatura envolvida na escrita no membro superior e apesar do controle motor normal ao realizar outro tipo de atividade, ocasiona perda do controle da caneta, sendo por vezes dolorosa. Esta distonia focal da mão, tipo tarefa específica, compromete a qualidade de vida dos indivíduos acometidos e não mostra, até hoje, resposta adequada a terapêutica (WAISSMAN e PEREIRA, 2008, p.237).

uma gama de movimentos anormais que podem incluir: hipocinesia (menos movimentos); bradicinesia (desaceleração dos movimentos); acinesia (ausência de movimentos); coreia (movimentos espasmódicos rápidas); atetose (escrevendo movimentos lentos); tiques (contrações repetidas rápidas); e distonias. Além disso, consumo de álcool, deficiência de ferro, excesso de cobre no corpo, pode levar a ataxia, tremores, síndrome das pernas inquietas; doença de Wilson entre outros;

- de origem psicológica: estresse, ansiedade e distúrbios emocionais podem levar a anormalidades dos movimentos como tremores; sintomas histéricos somatoformes ou dissociativos, que podem causar prejuízo de coordenação ou equilíbrio, paralisia ou fraqueza localizada;
- por envelhecimento natural: processo de desgaste do corpo, acarretando diminuição da capacidade de responder a desafios à função orgânica, limitação de movimentos e o desempenho físico começa a declinar;
- por acidentes e amputações: refere-se às situações em que por algum motivo se afeta a integridade física, por quedas, queimaduras, envenenamento, acidentes de trânsito, feridas e lesões produzidas por um fator externo.

As deficiências podem ser temporárias ou permanentes; progressivas, regressivas ou estáveis; intermitentes ou contínuas. O desvio em relação ao modelo baseado na população, e geralmente aceita como normal, pode ser leve ou grave e pode variar ao longo do tempo. As deficiências podem ser parte ou uma expressão de uma condição de saúde, mas não indicam, necessariamente, a presença de uma doença ou que o indivíduo deva ser considerado doente. As deficiências podem originar outras deficiências, por exemplo, a diminuição da força muscular pode prejudicar as funções do movimento que, por sua vez, pode prejudicar a comunicação (CIF, 2004).

Uma pessoa com deficiência física é, então, em termos funcionais, aquela que de forma transitória ou permanente tem uma alteração ou falha motora, e se traduz em limitações da postura das coordenações dos movimentos. Pode ou não possuir outros transtornos de tipo sensorial, intelectual ou linguístico (DELISA, 2001).

Para que a pessoa com deficiência seja amparada em legislações específicas, ainda é utilizada na prática diária a categorização médica da pessoa em

códigos que denominam e descrevem sua incapacidade. Esses códigos são a Classificação Internacional de Doenças - CID⁵². Assim, para fazer jus a qualquer benefício legal, como medicamentos e transportes, tecnologia assistiva e benefícios, é necessário categorizar o sujeito nesses códigos (DUSIK, 2013).

Com outro olhar, a Organização Mundial da Saúde (OMS) traz uma nova visão frente à deficiência, mudando o foco da incapacidade e redirecionando para as aptidões. Surge a Classificação Internacional de Funcionalidades - CIF, visando à funcionalidade e participação social da pessoa com deficiência, entendendo que suas restrições não são somente impostas pela condição física (alteração da estrutura e função do corpo biológico), mas os aspectos psicológicos, educacionais e sociais também determinam possibilidades e impedimentos de desenvolvimento de habilidades e de inclusão da pessoa com deficiência (DUSIK, 2013). Desse novo ponto de vista médico, deve-se ter em mente que as deficiências não são equivalentes às patologias subjacentes, mas sim a manifestações dessas patologias.

A CIF transformou-se de uma classificação de "consequência da doença" (versão de 1980) numa classificação de "componentes da saúde". Os componentes da saúde identificam o que constitui a saúde, enquanto que as "consequências" se referem ao impacto das doenças na condição de saúde da pessoa (OMS/CIF, 2004 p.3).

Nas classificações internacionais da OMS, os estados de saúde (doenças, perturbações, lesões, etc.) são classificados principalmente na CID-10 (abreviatura da Classificação Internacional de Doenças, Décima Revisão), que fornece uma estrutura de base etiológica. A funcionalidade e a incapacidade associadas aos estados de saúde são classificadas na CIF. Portanto, a CID-10 e a CIF são complementares (CIF, 2004).

A CID-10 classifica sintomas em capítulos especiais para documentar a morbidade ou a utilização de serviços, enquanto que a CIF mostra como parte das funções do corpo podem ser utilizados na prevenção ou na identificação das necessidades do sujeito (CIF, 2004 p.16).

Assim, para a abordagem do estudo em tela, não se deterá às questões clínicas e etiológicas como foco, mas as funcionais, por isso, se utilizarão as classificações da CIF.

A Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde,

⁵² Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde, frequentemente designada pela sigla CID. CID-10: 10ª revisão.

conhecida como CIF, proporciona uma linguagem unificada e padronizada, bem como uma estrutura de trabalho para a descrição da saúde e de estados relacionados com a saúde. Estão descritas com base na perspectiva do corpo, do indivíduo e da sociedade em duas listas básicas (CIF, 2004 p.13):

Parte 1. Funcionalidade e Incapacidade

(a) Funções do Corpo e Estruturas do Corpo: As deficiências correspondem a um desvio relativamente ao que é geralmente aceite como estado biomédico normal (padrão) do corpo e das suas funções (CIF, 2004).

(b) Atividades e Participação: é a capacidade de execução de uma tarefa ou ação com um mínimo de condições para que os indivíduos possam desempenhar o máximo de suas potencialidades, sentindo-se produtivos, eficientes e com envolvimento numa situação da vida (DUSIK, 2013).

Parte 2. Fatores Contextuais

(c) Fatores Ambientais: Os fatores ambientais interagem com as funções do corpo, como por exemplo, a qualidade do ar e a respiração, a luz e a visão, os sons e a audição, estímulos que distraem e a atenção, textura do pavimento e o equilíbrio, a temperatura do ambiente e a regulação da temperatura do corpo (CIF, 2004).

(d) Fatores Pessoais: Cada indivíduo atribui significados diferentes para sua deficiência, e essa significação não é mais entendida apenas pela presença ou não de doenças ou lesões, e sim pelo grau de preservação da sua capacidade funcional e da percepção do indivíduo de sua posição na vida, que irá influir diretamente no quanto aprenderá a lidar com seu potencial para sua própria superação (DUSIK, 2013).

Como classificação, a CIF agrupa sistematicamente diferentes domínios de uma pessoa com uma determinada condição de saúde (por exemplo, o que uma pessoa com uma doença ou perturbação faz ou pode fazer).

Funcionalidade é um termo que engloba todas as funções do corpo, atividades e participação; de maneira similar, incapacidade é um termo que inclui deficiências, limitação da atividade ou restrição na participação. A CIF também relaciona os fatores ambientais que interagem com todos estes

constructos. Neste sentido, a classificação permite ao utilizador registrar perfis úteis da funcionalidade, incapacidade e saúde dos indivíduos em vários domínios (CIF, 2004 p.07).

Na CIF (2004), a saúde e os estados relacionados com a saúde de um indivíduo são classificados nas categorias apropriadas, utilizando-se critérios de identificação definidos (presente ou ausente, de acordo com um valor limiar). Esses critérios são os mesmos para as funções e estruturas do corpo. Eles são: (a) perda ou ausência; (b) redução; (c) aumento ou excesso e (d) desvio. Uma vez que uma deficiência esteja presente, ela pode ser graduada em termos de gravidade, utilizando-se o qualificador genérico da CIF:

- xxx.0: NÃO há problema: quando a deficiência não exerce problema para as funções e estruturas do corpo (nenhum, ausente, insignificante);
- xxx.1: Problema LIGEIRO: (exerce problema leve, pequeno);
- xxx.2: Problema MODERADO: (exerce problema médio, regular);
- xxx.3: Problema GRAVE: (exerce problema grande, extremo);
- xxx.4: Problema COMPLETO: (exerce problema total).

Sendo assim, por exemplo, uma pessoa com deficiência, com ausência bilateral de movimentos dos membros superiores e inferiores, seria classificada pela CID-10 apenas como "G82.5 Tetraplegia não especificada", e esse diagnóstico não considera o ambiente. Pela CIF, ela seria também classificada conforme a ação pretendida, isto é, se para ação "escrever" a pessoa receber do "ambiente" aparatos tecnológicos que elimine ou diminua seu impedimento, sua classificação poderia variar entre Problema LIGEIRO ou MODERADO. Mas, se não receber facilitadores e efeitos positivos do ambiente, sua classificação seria Problema COMPLETO.

Antes de adentrar nas questões das pessoas com incapacidade motora grave, cabem algumas definições de conceitos trazidos pela CIF (2004 p.13):

Funções do corpo: são as funções fisiológicas dos sistemas orgânicos (incluindo as funções psicológicas).

Estruturas do corpo: são as partes anatômicas do corpo, tais como, órgãos, membros e seus componentes.

Deficiências: são problemas nas funções ou nas estruturas do corpo, tais como, um desvio importante ou uma perda.

Corpo: refere-se ao organismo humano como um todo; por isso, o cérebro e as suas funções, i.e., a mente, estão incluídos. As funções mentais (ou psicológicas) são, portanto, incluídas nas funções do corpo.

Atividade: é a execução de uma tarefa ou ação por um indivíduo.

Participação: é o envolvimento de um indivíduo numa situação da vida real.

Limitações da atividade: são dificuldades que um indivíduo pode ter na execução de atividades.

Restrições na participação: são problemas que um indivíduo pode enfrentar quando está envolvido em situações da vida real

Fatores ambientais: constituem o ambiente físico, social e atitudinal em que as pessoas vivem e conduzem sua vida.

2.4.1 Capacidade Motora para Comunicação

Conforme estes qualificadores, para que se considere incapacidade motora grave (ou total) para a função de comunicação, a deficiência deverá exercer problema grande, extremo ou total para as Funções da Voz e da Fala para estruturas do corpo ou relacionadas em prejuízo nas interações e relacionamentos interpessoais.

Desta forma, em conformidade com a CIF (2004), a comunicação caracteriza-se nas funcionalidades motoras:

TABELA 4: Capacidade Motora para Comunicação

FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO
a) Comunicar e receber mensagens nas interações interpessoais básicas	Trata-se das características gerais e específicas da capacidade de recepção da comunicação através da linguagem, sinais e símbolos, incluindo a utilização de dispositivos e técnicas de comunicação	Comunicar e receber mensagens: <ul style="list-style-type: none"> • orais; • não verbais (gestos, símbolos e desenhos); • linguagem gestual; • mensagens escritas
b) Comunicar e produzir mensagens nas interações interpessoais básicas	Trata-se das características gerais e específicas da capacidade de produção de mensagens, manutenção da conversação e utilização de dispositivos e técnicas de comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Falar; • Produzir mensagens não verbais; • Usar linguagem gestual; • Escrever mensagens; • Utilização de dispositivos e de técnicas de comunicação.
c) Funções da voz e da fala	Trata-se das funções da produção de sons e da fala pela passagem de ar através da laringe	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da voz; • Qualidade da voz; • Funções da fluência e do ritmo da fala.

d) Funções neuromusculoesqueléticas e relacionadas com o movimento	Trata-se das funções relacionadas com o movimento, incluindo funções das articulações, dos ossos, reflexos e músculos	<ul style="list-style-type: none"> • Funções da mobilidade e da estabilidade das articulações; • Funções da força, tônus e resistência muscular; • Funções de reflexos motores; • Funções de reações motoras involuntárias e voluntárias.
e) Estruturas do corpo relacionadas com a voz e a fala	Trata-se das funções relacionadas com a parte estrutural	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura do nariz; • Estrutura da boca; • Estrutura da faringe; • Estrutura da laringe.

Fonte: com base na CIF (2004).

2.4.2 Capacidade Mental para Comunicação

Trata-se das funções do cérebro que incluem funções mentais globais como consciência, energia e impulso, e funções mentais específicas como memória e linguagem.

Desta forma, em conformidade com a CIF (2004), a comunicação caracteriza-se nas funcionalidades mentais:

TABELA 5: Capacidade Mental para Comunicação

FUNCIONALIDADE	DESCRIÇÃO	CRITÉRIO
a) Funções mentais globais	Funções mentais gerais do estado de consciência e alerta, incluindo a clareza e continuidade do estado de vigília, funções mentais e estabelecimento de interações sociais recíprocas	<ul style="list-style-type: none"> • Funções da consciência; • Funções intelectuais; • Funções psicossociais globais.
b) Funções mentais específicas	Funções mentais de concentração, registro, armazenamento e recuperação de informações, reconhecimento e a interpretação dos estímulos sensoriais, controle e conteúdo do pensamento e linguagem	<ul style="list-style-type: none"> • Funções da atenção; • Funções da memória; • Funções psicomotoras; • Funções da percepção; • Funções do pensamento; • Funções cognitivas de nível superior; • Funções mentais da linguagem.

Fonte: com base na CIF (2004).

2.5 TECNOLOGIA ASSISTIVA DE COMUNICAÇÃO AUMENTATIVA E ALTERNATIVA

Como se viu, é fundamental para o desenvolvimento psicológico, das funções psicológicas superiores de todo sujeito, a interação social e a participação nas atividades humanas socioculturais vinculadas à atividade enquanto ser ativo. Viu-se também, que mesmo com o paradigma da inclusão e busca de uma sociedade inclusiva, que esteja de acordo com os preceitos de desenho universal, ainda haverá pessoas que, para exercer todas as funções, precisam de serviços de tecnologia assistiva e equipamentos diversos, que permitam relações entre o uso de instrumentos e o desenvolvimento da linguagem. Dentre essas pessoas, encontram-se as com limitações motoras, que precisam de instrumentos de TA para o desenvolvimento da comunicação.

Os produtos de Tecnologia Assistiva são definidos mais restritivamente como qualquer produto, instrumento, equipamento ou tecnologia adaptado ou especialmente concebido para melhorar a funcionalidade de uma pessoa com incapacidade (CIF, 2004).

Do ponto de vista da dignidade da vida humana, precisa-se cada vez mais pensar no aumento da expectativa de vida e sobre a vida, buscar resultados das decisões e desejos das pessoas com deficiência de modificarem-se a si mesmos e seu contexto, no sentido de obterem comportamentos mais saudáveis e mais sociais. É fundamental perceber que é desejo dos sujeitos manterem-se ativos nos afazeres cotidianos, reduzir ao mínimo o impacto da deficiência nos papéis diários e controlar as emoções relacionadas à deficiência. As expectativas dos sujeitos mostram as de participar da vida em comunidade, de maneira produtiva e eficaz, sem barreiras de acesso aos recursos oferecidos pela cultura, pela escola e pelo seu contexto social (DUSIK, 2013).

A CIF (2004) visa à funcionalidade e participação social da pessoa com deficiência, entendendo que suas restrições não são somente impostas pela condição física (alteração da estrutura e função do corpo biológico), mas os aspectos educacionais e sociais também determinam possibilidades e impedimentos de desenvolvimento de habilidades e de inclusão da pessoa com deficiência.

A partir disso se vê que as desvantagens e incapacidades não estão determinadas na deficiência, mas podem ser superadas em ambientes que

favoreçam o desenvolvimento das aptidões da pessoa. Isso remete na busca e no estudo de alternativas que contribuam para eliminar as barreiras da aprendizagem e das laborais, removendo ou atenuando as barreiras sociais e estimulando a atribuição de apoios e de facilitadores sociais (CIF, 2004).

Quanto à percepção da qualidade de vida e adaptação à deficiência, se evidenciam através da Tecnologia Assistiva novas esperanças de trabalhar, de estudar e sentir-se ativo. Resultado disso é a reconstrução da autoimagem, percebendo-se capaz de realizar atividades comuns. Nisto, a Tecnologia Assistiva mostra possibilidades de que pessoas com deficiência não sejam excluídas do sistema geral de ensino e, conseqüentemente, do convívio social (DUSIK, 2013).

Essa área de conhecimento, que visa encontrar meios de compensar limitações funcionais de pessoas com deficiência, permitindo-lhe superar barreiras e possibilitar sua plena inclusão social, conceitua-se como "*Assistive Technology*", "*Ayudas Técnicas*", "Tecnologia de Apoio" e "Tecnologia Assistiva", como se convencionou chamar no Brasil.

Conforme conceito proposto pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (BRASIL/CAT, 2009; SARTORETTO e BERSCH, 2010).

Então, a Tabela 6 resume este conceito:

TABELA 6: Resumo do conceito de TA

O que é?	é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar (envolve professores, terapeutas ocupacionais, fonoaudiólogo, fisioterapeuta, engenheiros, programadores entre outras áreas)
O que engloba?	produtos; recursos; metodologias; estratégias; práticas; serviços
No que?	na funcionalidade relacionada à atividade e participação
Para quem?	pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida
Para quê?	promover autonomia; independência; qualidade de vida; inclusão social
Como?	no auxílio em atividades de vida diária; material escolar e pedagógico adaptado; comunicação aumentativa e alternativa; informática acessível; acessibilidade e adaptações arquitetônicas; mobiliário; adequação, postural; mobilidade

Fonte: próprio autor.

O desenvolvimento de TA tem propiciado a valorização, integração e inclusão das pessoas com deficiência, diminuindo suas desvantagens. Assim, a TA é definida como:

Qualquer produto, instrumento, equipamento ou sistema tecnológico, de produção especializada ou comumente à venda, utilizado por pessoa com deficiência para prevenir, compensar, atenuar ou eliminar uma deficiência, incapacidade ou desvantagem (ISO 9999:2002-22 Produtos de apoio para comunicação e informação).

No contexto escolar⁵³,

os recursos podem ser considerados ajudas, apoio e também meios utilizados para alcançar um determinado objetivo; são ações, práticas educacionais ou material didático projetados para propiciar a participação autônoma do aluno com deficiência no seu percurso escolar. Quando nos referimos aos recursos de acessibilidade na escola, estamos falando em Tecnologia Assistiva (TA) aplicada à educação, sob a forma de Atendimento Educacional Especializado (AEE). [...] Diversas atividades exigem dos alunos competências como leitura, escrita, produção gráfica, manifestação oral, exploração de diversos ambientes e materiais. A dificuldade do aluno com deficiência para realizar essas atividades acaba limitando ou impedito sua participação na turma (SARTORETTO e BERSCH, 2010 p.8;10).

A TA visa solucionar, então, problemas de mobilidade, autocuidado, adequação postural, acesso ao conhecimento, produção de escrita entre outros. Além das dificuldades funcionais que alunos com necessidades específicas apresentam diante das ações escolares, as limitações de interação trazem consigo também outra dificuldade: os preconceitos que está sujeita a pessoa com deficiência.

Desenvolver recursos de Tecnologia Assistiva também pode significar combater esses preconceitos, pois, no momento em que lhe são dadas as condições para interagir e aprender, explicitando o seu pensamento, o indivíduo com deficiência mais facilmente será percebido e tratado como um "diferente-igual". Ou seja, "diferente" por sua condição de pessoa com deficiência, mas ao mesmo tempo "igual" por interagir, relacionar-se e competir em seu meio com recursos mais poderosos, proporcionados pelas adaptações de acessibilidade de que dispõe (GALVÃO FILHO e DAMASCENO, 2008 p.17).

A área da TA que se destina especificamente à ampliação de habilidades de comunicação é denominada de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) e é destinada a pessoas sem fala ou sem escrita funcional ou em defasagem entre sua necessidade comunicativa e sua habilidade em falar e/ou escrever (BERSCH e SCHIRMER, 2005).

⁵³ O termo escola pode ser entendido aqui como qualquer ambiente educacional, em qualquer nível ou modalidade.

A comunicação é inerente à condição humana. É a comunicação entre os indivíduos que permite a criação de uma sociedade. Sem comunicação não há transmissão de conhecimento ou partilha de emoções. Sem comunicação há apenas indivíduos isolados, que vivem unicamente dos seus instintos e das suas experiências individuais. É bastante frequente que se confundam restrições comunicacionais com a impossibilidade de conhecer, de aprender, de gerenciar a vida e estar consciente. Como resultado, crianças com paralisia cerebral e sem comunicação, surdocegos, pessoas com deficiência motora e dificuldades na fala, ficam limitados na interação com seus pares e tornam-se passivos e dependentes da atenção de adultos (cuidadores). É comum ver que estes antecipam e atendem necessidades, falam pela pessoa, determinam o que é bom e importante (SARTORETTO e BERSCH, 2010).

A linguagem é composta de um sistema de símbolos linguísticos adquiridos em um longo processo de aprendizagem cultural que cumprem duas funções: a comunicativa e a cognitiva. A função comunicativa permite estabelecer o processo de comunicação pela escolha e combinação de símbolos. A função cognitiva permite, por meio de símbolos linguísticos, representar nossos pensamentos e intenções e, assim, agir sobre estados mentais próprios e alheios (TOMASELLO, 2003; VYGOTSKY, 2001; PASSERINO e BEZ, 2015).

A CIF (2004) salienta que comunicar é a capacidade de receber e produzir mensagens. No que tange a produção de mensagens, considera-se as funções de:

- produzir mensagens verbais constituídas por palavras, frases e passagens mais longas com significado literal e implícito;
- produzir mensagens não verbais, usando linguagem corporal (movimentos do corpo, como por exemplo, mímica), sinais e símbolos, desenhos e fotografias;
- produzir mensagens usando linguagem gestual, com significado literal e implícito;
- escrever mensagens.

A comunicação difere da conversação, mas se apoia nela. Conversação é mais duradoura e possui três etapas: iniciar, manter e finalizar uma troca de pensamentos e ideias, realizada através da linguagem escrita, oral, gestual ou de outras formas de linguagem, com uma ou mais pessoas conhecidas ou estranhas, em ambientes formais ou informais. Já a discussão aprofunda-se com argumentos a

favor ou contra, ou um debate, através de linguagem (CIF 2004, p.122)

Passerino e Bez (2015) colocam que pessoas com déficits na comunicação precisam, muitas vezes, utilizar meios complementares, suplementares ou ampliadores de comunicação, para que o processo de interação se estabeleça.

A CAA possibilita a construção de novos canais de comunicação, através da valorização de todas as formas expressivas já existentes na pessoa com dificuldade de comunicação. Gestos, sons, expressões faciais e corporais devem ser identificados e utilizados (BERSCH, 2008). É considerada como uma área da Tecnologia Assistiva que se propõe a compensar temporária ou permanentemente a dificuldade do indivíduo em se comunicar.

A Comunicação Alternativa envolve o uso de gestos, expressões faciais e corporais, sons, símbolos gráficos, fotografias, gravuras, desenhos, linguagem alfabética e ainda objetos reais, miniaturas, voz digitalizada, dentre outros, como meio de efetuar a comunicação de indivíduos impedidos de usar a linguagem oral.

Estes devem ser identificados e utilizados para manifestar desejos, necessidades, opiniões, posicionamentos, tais como: Sim, Não, Olá, Tchau, Banheiro, Estou bem, Tenho dor, Quero (determinada coisa para a qual estou apontando), tenho fome e outras expressões utilizadas no cotidiano (BRASIL, 2004).

A Comunicação Alternativa objetiva suplementar, complementar, aumentar ou dar alternativas para efetivar a comunicação, constituindo-se como uma área da prática clínica e também educacional.

Alguns autores discutem a adequação do termo “comunicação alternativa”, pois traz a ideia de que a fala vai ser substituída. Segundo esses autores, seria melhor adotar o termo “comunicação suplementar”, ou ainda “comunicação ampliada ou aumentativa”. Esse termo designaria uma comunicação de suporte, ou seja, um apoio suplementar a fala. Nesse sentido, acreditam que, ao utilizar outra forma para comunicação, não se pretende substituir a fala, mas contribuir para que a comunicação ocorra (BRASIL, 2004).

Já outros defendem que, por vezes, a fala em suas definições da linguística requer sim certa substituição, então se usa o termo Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA).

Assim, a Comunicação Suplementar ou Ampliada (CSA) enfatiza formas alternativas de comunicação visando dois objetivos: promover e suplementar a fala, e garantir uma forma alternativa de comunicação para um indivíduo que não

começou a falar. Ampliando o conceito, podemos encontrar duas subdivisões: comunicação apoiada e comunicação não apoiada.

A comunicação apoiada englobaria todas as formas de comunicação que possuem expressão linguística na forma física e fora do corpo do usuário, como objetos reais, miniaturas de objetos, pranchas de comunicação com fotografias, fotos e outros símbolos gráficos, sistemas computadorizados e, ainda, pode necessitar de alguém para selecionar e indicar os estímulos necessários (BRASIL, 2004).

A comunicação não apoiada englobaria as expressões próprias daquela pessoa, tais como os sinais manuais, expressões faciais, língua de sinais, movimentos corporais, gestos, piscar de olhos para indicar “sim” ou “não”. Esses são os recursos da própria pessoa. As expressões são totalmente produzidas pelos seus usuários, ou seja, ela é realizada por meio das ações que o próprio aluno pode produzir, sem o auxílio de outra pessoa ou de equipamentos.

Dentro da comunicação apoiada, podem-se distinguir quatro tipos de tecnologia que apoiam a CA, já que abrange desde suportes mais simples até os mais sofisticados sistemas tecnológicos:

(1) as ajudas básicas, como pranchas de comunicação produzidas com cartolinas, imagens de revistas, fotografias e os quadros de papelão com as letras do alfabeto;

(2) a baixa tecnologia, botões que gravam mensagens curtas;

(3) a alta tecnologia, vocalizadores portáteis, dispositivos de comunicação portáteis baseados na escrita e na reprodução da voz; e

(4) a ajuda baseada em sistemas de softwares, sejam livres ou não.

Um recurso de comunicação pode ser dos mais variados tipos. Projeta-se e constrói-se um recurso considerando-se as habilidades do usuário, bem como a portabilidade e praticidade de uso. Quando selecionados de forma adequada, esses recursos eliminam ou diminuem as barreiras, temporárias ou permanentes, que impedem ou dificultam o desenvolvimento social, afetivo e mental do aluno com deficiência, e facilitam o acesso a todas as atividades curriculares, possibilitando-lhes aprender da maneira mais eficiente possível (BERSCH, 2008).

Assim, a busca de alternativas para atender essas expectativas sociais é, muitas vezes, encarada como um fator motivador para o sujeito com necessidades especiais. Isso se denomina como compensação, ou seja, o que era um “defeito” de ordem orgânica passa a ser um estímulo na busca pela superação. O sujeito procura

formas diferentes ou outros meios para realizar atividades da vida cotidiana (BERSCH, 2008).

Neste sentido, Vygostky e Luria pontuam que:

não podemos olhar um defeito como algo estático e permanente. Ele põe em ação e organiza grande número de dispositivos que não só podem enfraquecer o impacto do defeito, como por vezes até mesmo compensá-lo. Um defeito pode funcionar como poderoso estímulo no sentido da reorganização cultural da personalidade, [...] só precisa saber como descobrir as possibilidades de compensação e como fazer uso delas (VYGOTSKY e LURIA, 1993, p. 226).

Os recursos de comunicação de cada pessoa são construídos de forma totalmente personalizada e levam em consideração várias características que atendem às necessidades deste usuário. Essas ajudas técnicas, ou TA como se convencionou designar, podem ser recursos de baixa tecnologia ou de alta tecnologia, como os recursos computacionais.

Cabe ao professor do AEE constatar a necessidade do aluno, selecionar o recurso adequado, oferecer oportunidade de aprendizagem, ensinar o manejo do recurso, encaminhá-lo à escola comum e orientar, tanto o professor quanto os colegas, sobre como poderão interagir com o aluno que utiliza este recurso. É importante lembrar que os recursos devem ser avaliados e modificados para acompanhar as necessidades que surgem à medida que o aluno realiza novas experiências na escola (SARTORETTO e BERSCH, 2010 p.16).

Assim como tudo o que acontece na escola, o trabalho da comunicação alternativa terá repercussão e envolverá também o contexto de vida real do aluno, apoiando seu desenvolvimento e preparo para a vida. Os recursos de CAA e os demais recursos pedagógicos de acessibilidade serão eficientes se permitirem que a participação do aluno seja garantida, de modo que possa atuar em todas as atividades escolares, sem nenhum tipo de restrição. “Não se trata de oferecer a esses alunos atividades diferentes, na sala de aula, mas recursos que permitam a realização das mesmas atividades realizadas pela turma” (SARTORETTO e BERSCH, 2010 p.52).

A TA só tem significado se o aluno estiver inserido em um ambiente inclusivo; e o ambiente só é inclusivo quando as pessoas reconhecem e valorizam as diferenças. Neste sentido, a TA tem como foco o aluno em seu ambiente, o que impõem identificar a TA apropriada ao aluno, encontrar meios de obtê-la e avaliar o processo que vai da identificação da necessidade até a implementação da TA no contexto de vida do aluno.

Para tanto, é necessária uma investigação seguindo o fluxo demonstrado a

seguir (SARTORETTO e BERSCH, 2010):



- Sobre o ALUNO: O que é necessário o aluno fazer? Quais são as necessidades especiais do aluno? Quais são suas habilidades atuais?
- Sobre o AMBIENTE: Que materiais e equipamentos estão atualmente disponíveis no ambiente? Como é a disposição física? Existem preocupações especiais? Como é a organização instrucional? Existe possibilidade de alterações/mudanças? Que apoios estão disponíveis para o aluno? Que recursos estão disponíveis para as pessoas que apoiam o aluno?
- Sobre a TAREFA: Que tarefas são realizadas no ambiente? Que atividades fazem parte do currículo do aluno? Quais os elementos críticos destas atividades? Como as atividades poderão ser modificadas para atender as necessidades especiais do aluno? Como a tecnologia poderá apoiar a participação ativa do aluno nestas atividades?
- Sobre as FERRAMENTAS: Que tecnologia (recurso e/ou serviço) deve ser considerada para o desenvolvimento de um "sistema" para o aluno, que possui estas necessidades e capacidades, que deve realizar estas tarefas, neste ambiente? Que estratégias podem ser utilizadas para incrementar seu desempenho escolar? Como as ferramentas poderão ser experimentadas com o aluno no ambiente usual em que elas serão utilizadas?

Da mesma forma, algumas etapas podem ser citadas como passos importantes no processo de implementação da TA na escola (SARTORETTO e BERSCH, 2010):

- 1. Conhecimento do aluno e de suas pretensões funcionais.

- 2. Avaliação do contexto educacional (objetivos educacionais, ambiente físico, recursos tecnológicos existentes, recursos humanos e conhecimentos). Observação do aluno no ambiente.
- 3. Avaliação das tarefas. Observação do aluno participando das tarefas propostas ao grupo para sinalização das barreiras existentes que surgem da sua condição física e funcional, da forma como a atividade é organizada, das ferramentas utilizadas para a execução da atividade avaliada, da falta de conhecimento e de utilização de estratégias que favoreçam a participação ativa e autônoma deste aluno.
- 4. Listar os problemas enfrentados, entender a causa destes problemas e eleger, junto com o aluno, as prioridades de intervenção. Traçar objetivos e resultados esperados.
- 5. Avaliar o aluno para identificação de suas dificuldades e habilidades pessoais.
- 6. Encaminhar às avaliações específicas, quando necessário, que indicarão com maior aprofundamento questões relativas aos potenciais motor, visual, auditivo, condições de saúde e outros.
- 7. Com base nos dados coletados selecionar ou construir a Tecnologia Assistiva que será experimentada com o aluno. Ter sempre em mente o objetivo a ser alcançado pela utilização da TA; levar em consideração as necessidades e principalmente as habilidades do aluno, que serão utilizadas e potencializadas com o uso da TA.
- 8. Experimentar várias alternativas de recursos e estratégias, buscando a definição, junto com o aluno, sobre aquela que corresponde à sua condição e necessidade.
- 9. Realizar a tomada de decisão sobre a TA apropriada.
- 10. Implementar a TA no contexto de vida do aluno e seguir com um acompanhamento voltado a formação do aluno e demais pessoas que se beneficiarão da utilização da TA (família e escola).
- 11. Revisar os objetivos e avaliar os resultados.

- 12. Levantar novas demandas e reiniciar o processo.

Nas etapas de implementação da TA, no âmbito da escola, o professor de Atendimento Educacional Especializado (AEE) é o responsável pelo plano e execução que garantem os serviços e recurso da TA. Os professores da sala de aula comum devem conhecer o trabalho do AEE para que utilizem a TA e compreendam que existem muitas possibilidades de recursos de acessibilidade que permitem o aluno, com deficiência, participar das atividades escolares e interagir com o professor e colegas de turma. Por isso, é importante a interlocução do professor do AEE com o professor da sala de aula, para que discutam as necessidades do aluno e os objetivos educacionais a serem atingidos (SARTORETTO e BERSCH, 2010).

2.5.1 Produtos e Tecnologias para a Comunicação

Sartoretto e Bersch (2010) dizem que ao escrever, a criança estabelece novas relações com o meio, internaliza conceitos, manifesta suas ideias, ressignifica seus conhecimentos a respeito da língua escrita, registra-os e comunica-os. Usar o lápis da forma convencional e conseguir enxergar o que está sendo escrito não é pré-requisito para aprender a escrever. A aprendizagem da leitura e da escrita é conceitual e não mecânica.

Há alunos que podem apresentar dificuldades na fala ou na escrita devido a impedimentos motores, cognitivos, emocionais ou de outra ordem. Essas restrições funcionais os impedem de expressar seus conhecimentos, suas necessidades, seus sentimentos, e é bastante frequente que confundam tais restrições com a impossibilidade de conhecer, de aprender, de gerenciar a vida, de ser sujeito. Muitas alternativas podem ser construídas para facilitar quando se detecta dificuldades motoras do aluno (SARTORETTO e BERSCH, 2010).

a) Recursos de baixa tecnologia

O objetivo destes exemplos de recurso é estabilizar ou auxiliar nos movimentos de pessoas com deficiência física nas atividades de comunicação escrita.

FIGURA 5: Recursos de baixa tecnologia

Fonte: adaptado de Dusik (2013)

b) Recursos de alta tecnologia

O objetivo destes exemplos de recurso é a escrita Braille e a comunicação por símbolos e sistemas.

FIGURA 6: Recursos de alta tecnologia

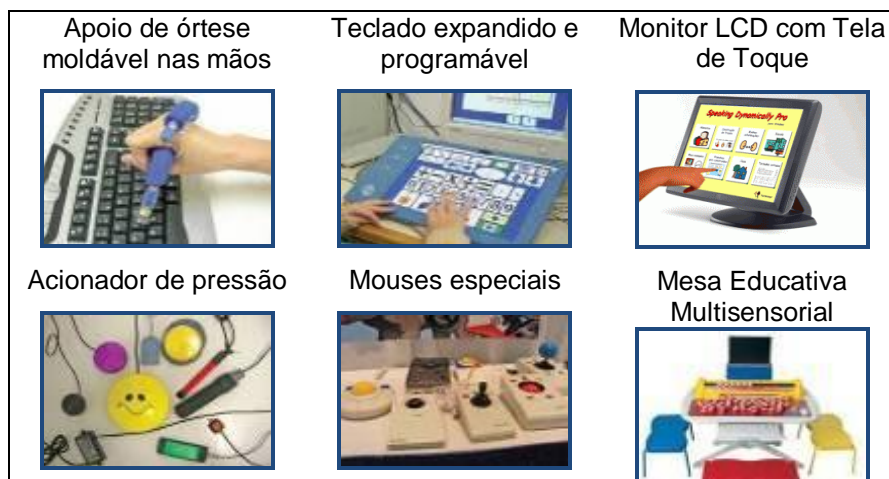
Fonte: adaptado de Dusik (2013)

Dentre os recursos de alta tecnologia, há os desenvolvidos para as Tecnologias Computacionais, que podem ser utilizadas como Tecnologia Assistiva, ou por meio de Tecnologia Assistiva. Galvão Filho e Damasceno (2008) esclarecem essa diferença dizendo que

utilizamos como Tecnologia Assistiva quando o próprio computador é a ajuda técnica para atingir um determinado objetivo. Por exemplo, o computador utilizado como caderno eletrônico, para o indivíduo que não consegue escrever no caderno comum de papel. Por outro lado, as Tecnologias Computacionais são utilizadas por meio de Tecnologia Assistiva, quando o objetivo final desejado é a utilização do próprio computador, para o que são necessárias determinadas ajudas técnicas que permitam ou facilitem esta tarefa. Por exemplo, adaptações de teclado, de mouse, software especiais, etc. (p.18).

Recursos de Hardware: ajudas técnicas que permitam ou facilitem interação com o computador:

FIGURA 7: Recursos de Hardware



Fonte: adaptado de Dusik (2013)

Recursos de Software: por meio de softwares específicos, diversas modificações podem ser feitas nas configurações do computador, adaptando-o às diferentes necessidades dos alunos. Existe uma diversidade de softwares especiais de acessibilidade, que são componentes lógicos das Tecnologias da Informação e Comunicação quando construídos com a finalidade de ser recurso de Tecnologia Assistiva, que possibilitam ou facilitam a interação do aluno com deficiência com o computador.

FIGURA 8: Recursos de Software



Fonte: adaptado de Dusik (2013)

Esses recursos de Tecnologia Assistiva mostram-se como alternativa para comunicação daqueles que possuem alguma condição motora, mas não atendem àqueles que não possuem nenhum movimento. Com isso, reforça-se a necessidade de se pensar recursos com Interface Cérebro Computador - ICC.

3 INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR - *Penso, logo existo*

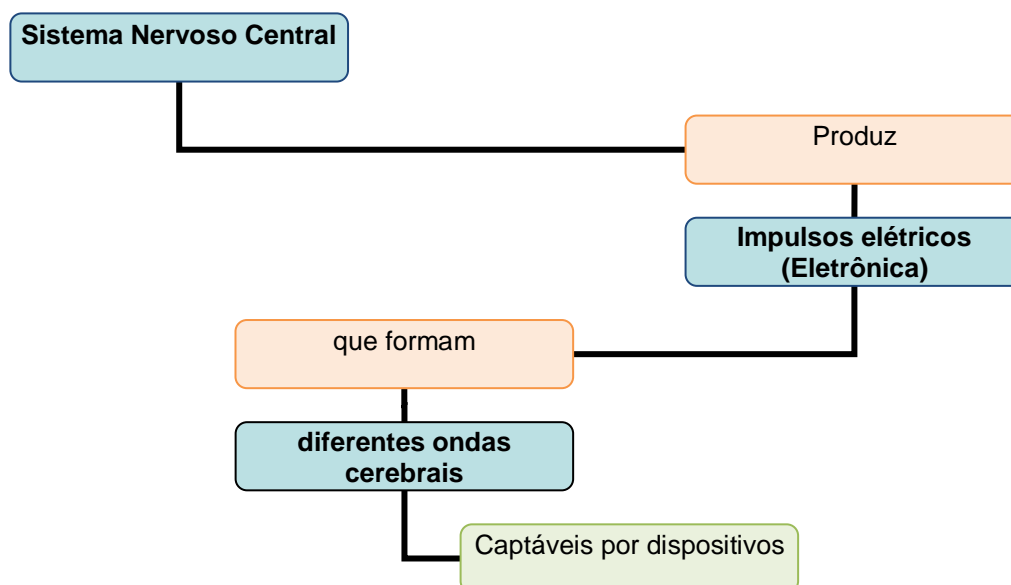
O nosso cérebro é o melhor brinquedo já criado: nele se encontram todos os segredos, inclusive o da felicidade (Charles Chaplin).

Uma Interface Cérebro Computador, também chamada de Interface Neural Direta ou Interface Cérebro Máquina, consiste em um mecanismo de comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo (BERGER *et al*; 2008). Para Nicoletis (2013), são sistemas artificiais que visam restaurar a sensação e movimento de pacientes paralisados (lesão da medula espinhal, doenças do neurônio motor, lesões musculares, etc.).

Para que se compreenda esse mecanismo, apresenta-se por primeiro a estrutura e funcionamento do sistema nervoso central humano e, em seguida, abrange-se sobre ondas cerebrais e alguns conceitos de eletrônica, pois destes conceitos levou a medicina a compreendê-las. Por conseguinte, descrevem-se dispositivos eletrônicos e o uso deles para comunicação com ondas cerebrais e computadores.

O mapa conceitual a seguir resume de forma didática a apresentação deste capítulo.

FIGURA 9: mapa conceitual do Capítulo 3.

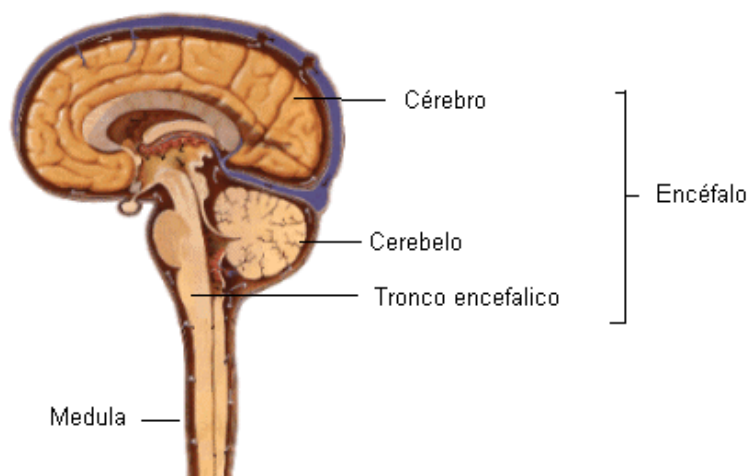


Fonte: próprio autor (2015).

3.1 SISTEMA NERVOSO CENTRAL - SNC

O sistema nervoso central (SNC), ou neuroeixo, é conjunto do encéfalo e da medula espinhal, protegidos por crânio e coluna vertebral, respectivamente. O SNC desempenha três funções principais: (1) a função sensorial, (2) a função integrativa, que inclui os processos de pensamento e memória e (3) a função motora. O sistema nervoso central é responsável por receber e processar informações. Ambas as estruturas são reforçadas por três meninges: a dura-máter, aracnoide e pia-máter. Há entre as duas últimas a presença do líquido⁵⁴, responsável pela nutrição do sistema nervoso central (SNC) e pela minimização dos possíveis traumas causados por choques mecânicos (OLIVEIRA, 2005).

FIGURA 10: Sistema Nervoso Central (SNC) ou Neuroeixo



Fonte: <http://www.epub.org.br/svol/imagens/cerebro-1snc.gif>.

A medula espinhal assemelha-se a um cordão arredondado, protegida por um conjunto de ossos chamados vértebras, que formam a coluna vertebral. Dessa medula se originam 31 pares de nervos espinhais. Pode ser dividida em 6 partes: cervical superior, dilatação cervical, dorsal, lombar, cone terminal e filamento terminal. Esses nervos se ramificam e constituem o Sistema Nervoso Periférico (SNP), que consiste em todos os neurônios aferentes (sensoriais), e eferentes (motores) (SPENCER, 1991).

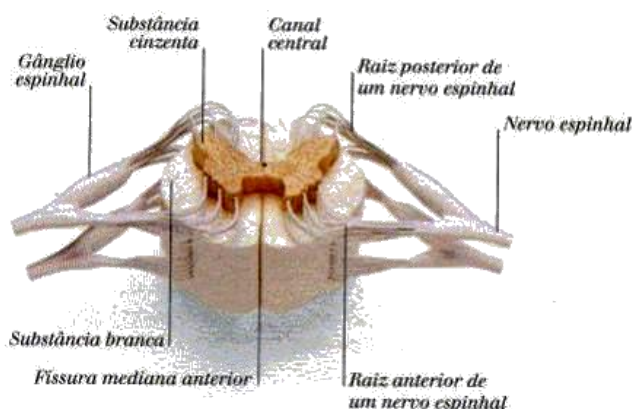
A função da medula espinhal é conduzir impulsos nervosos das regiões do

⁵⁴ O Líquor atua no suprimento de nutrientes e remoção de resíduos metabólicos do tecido nervoso. É uma solução salina muito pura, pobre em proteínas e células, e age como um amortecedor para o córtex cerebral e a medula espinhal.

corpo até o encéfalo e vice-versa. Os circuitos neuronais medulares são importantes na produção dos movimentos musculares, pois eles exercem o controle direto sobre os músculos (GUYTON, 1993).

Ao redor da medula, mostrada na figura a seguir, encontra-se o líquido cefalorraquidiano, que banha todo o Sistema Nervoso Central. A partir deste líquido, diversas doenças podem ser diagnosticadas, como meningite e alguns tumores. A medula espinhal está envolvida pelas mesmas três meninges que envolvem o cérebro: dura-máter, aracnoide e pia-máter (SPENCER, 1991).

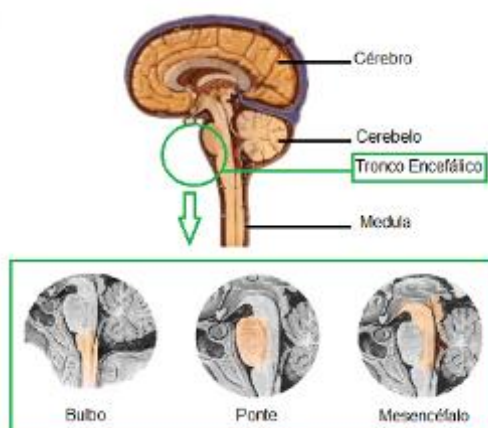
FIGURA 11: Imagem em corte da medula espinhal



Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/4-ebd1d07784.jpg>.

O tronco encefálico conecta a medula espinhal com as estruturas encefálicas localizadas superiormente e se divide em: bulbo, ponte e mesencéfalo. Conforme pode ser observado na Figura 12, entre o cérebro e a medula há o tronco encefálico, com suas três estruturas fundamentais.

FIGURA 12: divisão do tronco encefálico



Fonte: adaptação a partir de imagens do Google.

Na parte caudal do bulbo, as fibras cruzam obliquamente e constituem a *decussação das pirâmides*. É devido esse cruzamento que o hemisfério cerebral direito controla o lado esquerdo do corpo e o hemisfério cerebral esquerdo controla o lado direito. No bulbo localiza-se o centro respiratório e visomotor (SPENCER, 1991).

A Ponte tem um papel fundamental na regulação do padrão e ritmo respiratório. Lesões nessa estrutura podem causar graves distúrbios no ritmo respiratório. O mesencéfalo, também chamado de pedúnculo cerebral, é por onde passam todos os estímulos que saem e vão para o cérebro, além de conter diversas estruturas que controlam a postura e ativação do córtex cerebral (GUYTON, 1993).

O Cerebelo, juntamente com o Bulbo, faz a modulação correta dos movimentos e do tônus muscular. Funciona sempre em nível involuntário e inconsciente, e sua função é exclusivamente motora do equilíbrio e da coordenação (OLIVEIRA, 2005; MACHADO, 1991).

Além de estabelecer o equilíbrio corporal, o cerebelo recebe o estímulo de músculos e tendões e tem a função de controlar as atividades motoras para movimentos voluntários. Além disso, é essencial na aprendizagem motora e em ter função essencial no tato, visão e audição (MACHADO, 1991).

O cérebro é formado pelo diencefalo e o telencefalo, que corresponde ao prosencefalo. Ao diencefalo compreendem as seguintes partes: tálamo, hipotálamo, epitálamo e subtálamo. O telencefalo compreende os dois hemisférios cerebrais, direito e esquerdo (MACHADO, 1991).

Dentro do escopo dessa pesquisa, não será detalhado o todo do SNC, mas as estruturas que facilitam ao leitor compreender o mecanismo de ação da Interface Cérebro Computador. Assim, importa noções básicas sobre uma parte do encéfalo: o Cérebro.

3.1.1 Cérebro e estruturas cerebrais

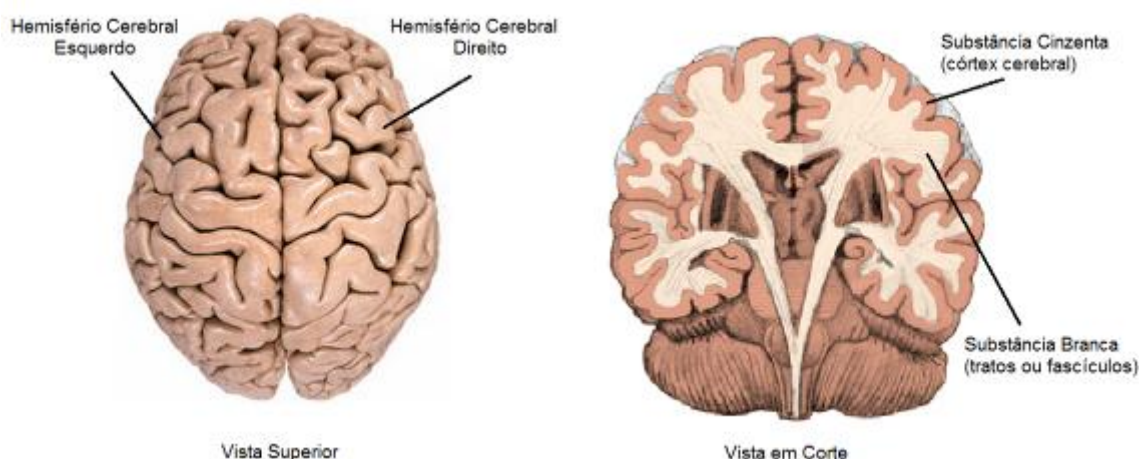
O cérebro humano é particularmente complexo e extenso. É o mais poderoso órgão do nosso corpo, sendo responsável por comandar quase todas as funções orgânicas (exceto as vegetativas, que são controladas pelo bulbo). Representa apenas 2% da massa do corpo, mas, apesar disso, recebe aproximadamente 25% de todo o sangue que é bombeado pelo coração. Divide-se

em diencéfalo e o telencéfalo. Contudo, Oliveira (2005, p.27) refere que "considera-se como cérebro as estruturas situadas acima do hipotálamo, ou seja, os hemisférios cerebrais e as outras estruturas que fazem parte do telencéfalo".

A região mais externa do cérebro, "substância cinzenta", é denominada córtex cerebral, rico em corpos de neurônios. O córtex possui áreas sensoriais, motoras e associativas (interpretação de sensações e elaboração de planos de ação). A região mais interna do cérebro, rica em dendritos e axônios, geralmente revestidos por mielina, é a substância branca, que leva informações ao córtex, e recebe dele instruções acerca do funcionamento do corpo (MACHADO, 1991).

Observa-se na Figura 13, à esquerda, o cérebro dividido em hemisférios e, à direita, a imagem em corte em que se visualiza o córtex.

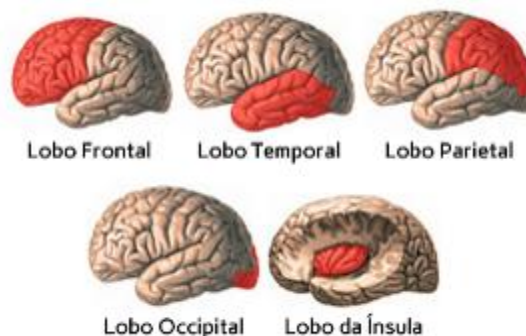
FIGURA 13: O cérebro



Fonte: adaptação a partir de imagens do Google.

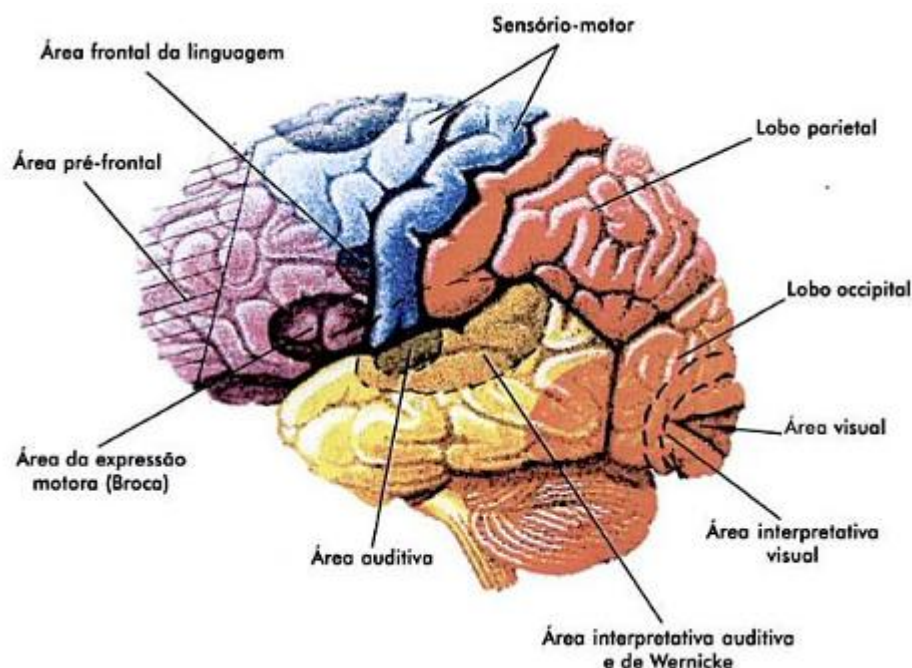
Oliveira (2005) descreve que os hemisférios cerebrais se ligam por fibras nervosas chamadas: corpo caloso, comissura anterior e comissura posterior, que levam o cérebro a funcionar de forma holística. Enquanto no hemisfério esquerdo predomina a lógica, a matemática, com o pensamento linear, objetivo e concreto, no hemisfério direito predomina o metafórico, artístico, musical, simbólico e abstrato.

O cérebro apresenta depressões denominadas sulcos, que delimitam os giros ou circunvoluções cerebrais. Dessa forma, o cérebro possui lobos cerebrais, demonstrados na Figura 14, que recebem o nome de acordo com a sua localização em relação aos ossos do crânio, sendo eles: frontal, temporal, parietal, occipital e o lobo da ínsula (este não se relaciona com nenhum osso do crânio) (GUYTON, 1993).

FIGURA 14: Lobos cerebrais

Fonte: <http://www.auladeanatomia.com/site/pagina.php?idp=125>.

Os lobos cerebrais possuem funções amplas em seu córtex, que sofrem especializações funcionais com maior aprimoramento em regiões que os circundam. Assim, por exemplo, o lobo occipital tem a função da visão de uma forma ampla, e em torno dessa área (mas no mesmo lobo), ficam as áreas da associação e interpretação do que se vê. No entanto, apesar dessa especialização, os lobos se inter-relacionam para que, assim, o que o sujeito vê possa ser reconhecido, receba um nome, lembre-se da utilidade, planeja-se e execute uma ação. Além disso, quando necessário, uma área pode assumir a função de outra (plasticidade cerebral) (OLIVEIRA, 2005).

FIGURA 15: Lobos cerebrais e suas funções

Fonte: (OLIVEIRA, 2005 p.35).

3.1.2 Efeitos de doenças e lesões

Uma Lesão Traumática da Medula Espinhal (LTME) pode ocorrer por hiperflexão ou hiperextensão da cabeça e pescoço, compressão ou rotação do corpo vertebral, ou por lesões penetrantes, que causam ruptura total ou parcial da transmissão medular, levando, assim, a uma alteração da função normal da medula. Conforme a localização, a lesão pode causar a perda permanente da sensibilidade e/ou motricidade, levando o indivíduo a uma tetraplegia ou paraplegia. A tetraplegia resulta da alteração das funções dos membros superiores, tronco, membros inferiores e órgãos pélvicos. Já a paraplegia refere-se à perda da função motora e/ou sensitiva nos segmentos torácicos, lombares e sacrais (NOGUEIRA, CALIRI e HAAS, 2006).

Como no tronco encefálico localiza-se o centro respiratório, muito importante para a regulação do ritmo respiratório, o centro vasomotor (pressão sanguínea) e o centro do vômito (bulbo), lesões neste órgão são particularmente perigosas. Em razão de sua importância com relação às funções vitais, o tronco é muitas vezes chamado de centro vital (GUYTON, 1993).

Lesões que acometem o cerebelo são dificilmente revertidas e comprometem a movimentação, como a precisão e rapidez dos movimentos, que deixam de ser eficientes e diminuição do tônus muscular, das mudanças posturais, alteração da marcha, do equilíbrio, entre outras alterações (MACHADO, 1991).

O córtex sensório-motor é responsável pelo controle e coordenação da motricidade voluntária. Traumas nesta área causam fraqueza muscular ou até mesmo paralisia. O córtex motor do hemisfério esquerdo controla o lado direito do corpo, e o córtex motor do hemisfério direito controla o lado esquerdo. Cada córtex motor contém um mapa da superfície do corpo.

O córtex pré-motor é responsável pela aprendizagem motora e pelos movimentos de precisão. A área pré-motora fica mais ativa do que o resto do cérebro quando se imagina um movimento, sem o executar. Em execução, a área motora fica também ativa. A área pré-motora parece ser a área que em grande medida controla o sequenciamento de ações em ambos os lados do corpo. Traumas nesta área não causam nem paralisia nem problemas na intenção para agir ou planejar, mas a velocidade e suavidade dos movimentos automáticos ficam perturbadas.

As áreas funcionais do córtex cerebral são: (1) a área motora; (2) a área sensorial; (3) a área visual; (4) a área auditiva; (5) a área de Wernicke (metacognição); (6) a área para a memória de curto prazo e a área pré-frontal (GUYTON, 1993).

3.1.3 Efeitos de estímulos e exercícios

Comparado a outras espécies, o cérebro humano é, de longe, o mais complexo e poderoso, porque além do grande número de neurônios ele tem a capacidade incomparável de restaurar suas próprias funções. Apesar das áreas funcionais, o cérebro possui plasticidade, isto é, neuroplasticidade, também conhecida como plasticidade cerebral, que se refere à capacidade do sistema nervoso de mudar, adaptar-se e moldar-se a nível estrutural e funcional quando o sujeito é exposto repetidamente a novas experiências, estímulos e exercícios. O cérebro continua em constante evolução biológica adequando-se sempre a novas circunstâncias, em um processo coordenado, dinâmico e contínuo, que promove a remodelação, faz com que os circuitos neuronais sejam maleáveis e promova adaptação a lesões e eventos traumáticos (SCHMIDEK e CAMPOS, 2008).

A neuroplasticidade possui suma importância para a utilização das ICC, visto que, se o cérebro fosse imutável, seria necessário desenvolver interfaces que se adaptassem ao funcionamento do cérebro de cada usuário. No entanto, devido à neuroplasticidade, é possível construir-se interfaces menos personalizadas, pois com o treino e exercício, o cérebro pode criar novas estruturas necessárias para atingir um melhor desempenho. É a plasticidade do cérebro que possibilita ao sujeito aprender a usar uma ICC e, assim, ir aumentando seu desempenho com a continuidade da utilização da mesma (PEREIRA, 2013).

Um dos campos onde se aproveita a neuroplasticidade é, por exemplo, no denominado *neurofeedback*. Este permite ao utilizador observar a sua atividade cerebral e atuar sobre a mesma, modificando-a para cumprir novas tarefas, ou para cumpri-las de forma mais eficiente. O *neurofeedback* é uma forma de *biofeedback* que utiliza dispositivos eletrônicos para detectar a atividade fisiológica do cérebro (PEREIRA, 2013).

O cérebro não armazena cada memória em neurônios isolados ou distintos,

mas sim em redes neuronais. Se um dado neurônio morre, o cérebro pode restabelecer essa conexão de memória através de outro neurônio e, assim, conservar a memória. Os neurobiólogos chamam a isto de circuitos redundantes (SCHMIDEK e CAMPOS, 2008).

O córtex é o local de representações simbólicas. O que ele recebe é processado e integrado, respondendo com uma ação. É a sede do entendimento, da razão. Se não houvesse córtex não haveria: linguagem, percepção, emoção, cognição e memória. No homem, o desenvolvimento do córtex permitiu o desenvolvimento da cultura que, por sua vez, serviu de estímulo ao próprio desenvolvimento cortical.

As informações são recebidas, interpretadas e enviadas por ondas cerebrais, que são atividades elétricas produzidas pelas células cerebrais. As ondas cerebrais mudam de frequência baseadas na atividade elétrica dos neurônios e estão relacionadas com mudanças de estados de consciência (concentração, relaxamento, meditação, sono profundo). (GUYTON, 1993; PEREIRA, 2013).

3.2 ONDAS CEREBRAIS, ELETRÔNICA E ICC

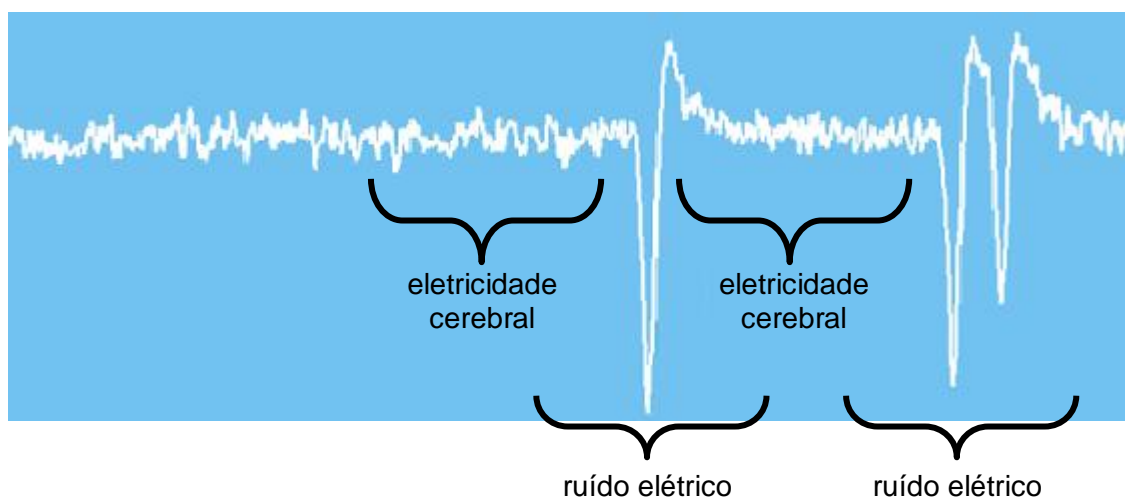
O cérebro produz correntes elétricas que podem ser captadas na sua superfície, ou mesmo na superfície externa da cabeça. As ondulações desses potenciais elétricos registrados são chamadas de ondas cerebrais. Estas ondas podem ser medidas e representadas graficamente utilizando métodos como o eletroencefalograma (EEG).

A eletroencefalografia (EEG) é uma técnica que mede a atividade elétrica do cérebro com sensores que registram flutuações na tensão na superfície do crânio. O primeiro eletroencefalograma humano foi gravado em 1924 por Hans Berger, um psiquiatra alemão cujo interesse pela "energia psíquica" levou-o a experimentar os campos elétricos do cérebro. As frequências dessas atividades elétricas são medidas em ciclos por segundo ou HZ (Hertz) (GUYTON, 2006).

O EEG está sujeito a muitos tipos diferentes de ruído. O movimento dos olhos (que são carregados eletricamente) e a atividade muscular produzem atividade elétrica do Sistema Nervoso Periférico (SNP). Assim, piscar, engolir e apertar o maxilar produzirá ruído, que pode dominar os sinais originários do cérebro. Isso

pode dificultar a leitura do EEG. Para detectar com precisão a atividade do cérebro, o movimento deve ser reduzido ao mínimo.

FIGURA 16: Eletricidade cerebral (SNC) e ruído elétrico (SNP)



Fonte: adaptação a partir de EEG 101.

EEG não consegue ler mentes. Na maior parte, os dados brutos de EEG são bastante informativos. Com o processamento, o EEG pode dar pistas sobre a atividade geral do cérebro, mas não é capaz de ler mentes. O sinal EEG é gerado quando dezenas de milhares de células cerebrais disparam em sincronia. Embora pensar em um gato, por exemplo, produza alguma alteração na atividade cerebral, é muito pequena para afetar o disparo rítmico em grande escala do cérebro para que EEG possa detectar (EEG101⁵⁵).

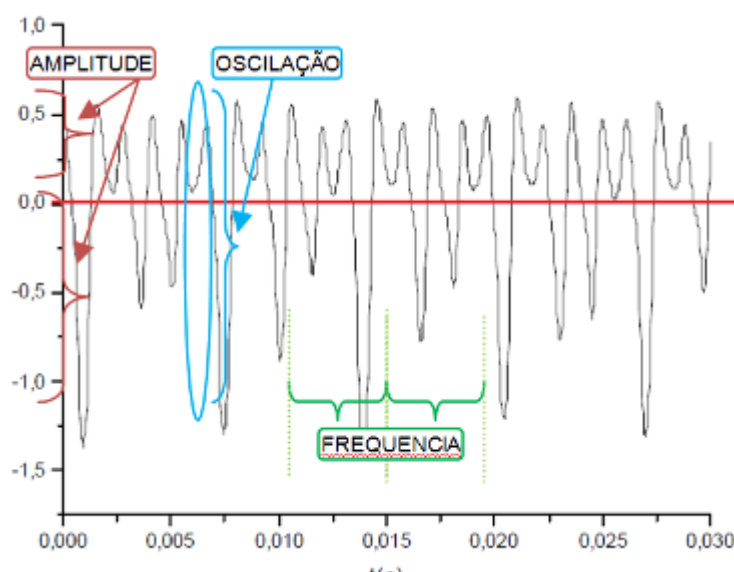
Em geral, essas ondas podem ser caracterizadas pela sua frequência, amplitude e fase (GUYTON, 2006; OLIVEIRA, 2005).

- Amplitude: é a intensidade da corrente elétrica ou da tensão;
- Frequência: é a repetição da oscilação por unidade de tempo;
- Fase: é diferença, expressa em ângulo ou tempo, entre duas ondas que tenham mesma frequência e em referência ao mesmo ponto no tempo.

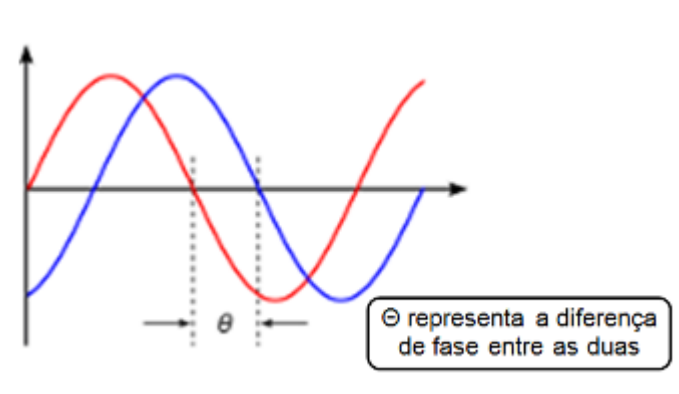
As propriedades desses sinais podem ser obtidas usando a Análise tempo-frequência.

A Figura 17, a seguir, demonstra a frequência, oscilação e amplitude, e a Figura 18 mostra a fase entre duas ondas.

⁵⁵ Tutorial Muse. Aplicativo Android disponível em Google Play.

FIGURA 17: Frequência, oscilação e amplitude de ondas elétricas

Fonte: adaptação a partir de imagens do Google.

FIGURA 18: Diferença de fase de sinais

Fonte: adaptação a partir de imagens do Google.

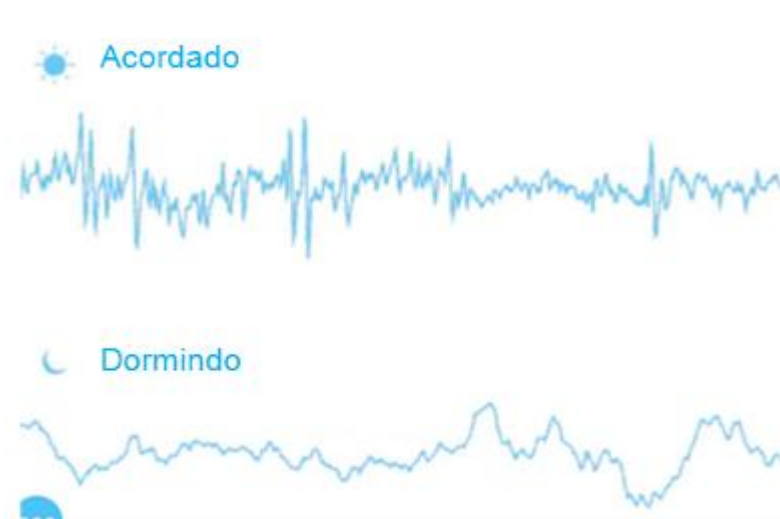
Em oscilações de larga escala, alterações de amplitude são consideradas resultado de alterações de sincronização nas células do sistema nervoso central, também conhecido como sincronização local. Além desta, atividades oscilatórias envolvendo estruturas neurais distantes (neurônios simples ou estruturas de neurônios), podem entrar em sincronia. Oscilações e sincronizações neurais foram associadas a várias funções cognitivas, tais como: transferência de informação, percepção, controle motor e memória (GUYTON, 2006; MOURA, 2013; PETERMAN, 2010).

Conforme Sabbatini (2014), as características das ondas cerebrais mudam conforme a situação fisiológica, especialmente com o nível de vigília (acordado, dormindo, sonhando, etc.). A frequência e a amplitude das ondas registradas

mudam, e então essas ondas características foram chamadas de alfa, beta, teta e delta.

O EEG é capaz de detectar o "estado" do cérebro. Esta atividade de organização elétrica varia entre diferentes estados cerebrais, como sono e vigília. Durante o sono, nosso cérebro produz diferentes tipos de atividade elétrica rítmica. Quando acordados, os ritmos do cérebro tendem a mudar rapidamente e é Irregular, enquanto os ritmos organizados se tornam mais dominantes quando dormimos e passamos pelos múltiplos estágios do sono. Certas emoções e processos cognitivos também foram associados a padrões característicos de atividade rítmica que podem ser identificados com EEG.

FIGURA 19: Estados cerebrais de sono e vigília



Fonte: adaptação a partir de EEG 101.

Determinadas tarefas mentais como, por exemplo, ordenar uma ação muscular ou pensar algo emocionante, também altera o padrão observado nas ondas em diferentes pontos do cérebro.

3.2.1 Tipos de Ondas Cerebrais

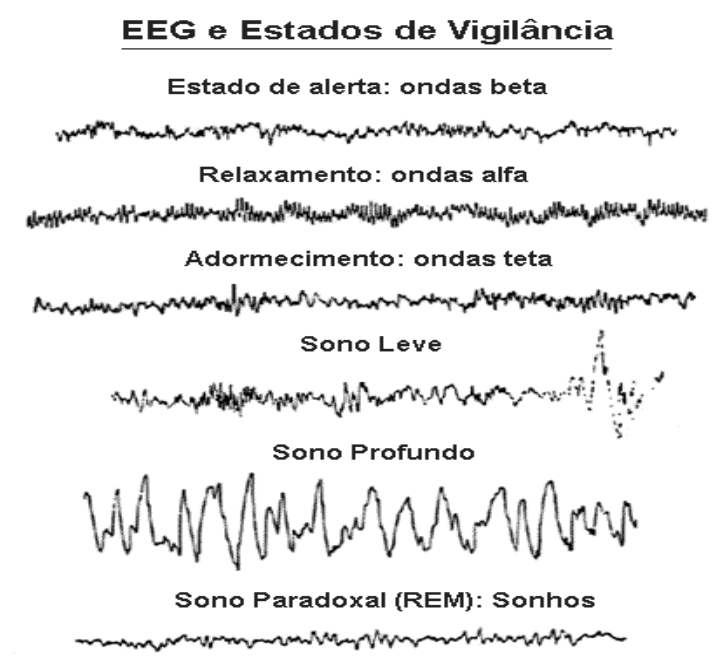
Tipos de ondas cerebrais e estados de consciência:

- Delta (2-4 Hz): As ondas Delta são as ondas cerebrais mais lentas (menor frequência). Dominam durante o sono profundo e tendem a ser

de grande amplitude porque representam o disparo sincronizado de grandes populações de neurônios;

- Theta (4-7.9 Hz): As ondas de Theta são mais comumente observadas no período hipnagógico imediatamente antes de adormecer. Também foram observadas durante meditações profundas e estados hipnóticos;
- Alpha (8-12.9 Hz): As ondas alfa podem indicar a marcha lenta de uma região do cérebro. Por exemplo, elas aumentam dramaticamente quando os olhos estão fechados. Elas são especialmente fortes na parte de trás da cabeça, onde o centro de visão do cérebro se localiza;
- Beta (13-30 Hz): As ondas beta são prevalentes quando o cérebro está acordado e ativo. Elas foram associadas com alerta, concentração e engajamento. Alguém absorvido em uma conversa ou pensando em um problema difícil exibiria alta atividade beta. No estado beta, os neurônios transmitem as informações muito rápidas, permitindo a atingir estados de concentração;
- Gamma (30 + Hz): As ondas gama são a forma mais rápida de oscilação neural. Eles são difíceis de detectar e analisar com EEG normal, mas é um tema de pesquisa contínuo. Elas foram tentativamente associadas com atenção, memória de trabalho e consciência.

FIGURA 20: Ondas cerebrais e estados de consciência



Fonte: imagens do Google.

3.2.2 Dispositivos eletrônicos para Neurofeedback

Os dispositivos eletrônicos são combinações onde se usa o circuito básico. Seus componentes são agrupados de forma organizada e formam blocos. Estes blocos, interligados, formam circuitos eletrônicos mais complexos e, assim sucessivamente, fazem funcionar os mais diversos equipamentos eletrônicos (RESENDE, 2004).

Para compreender os dispositivos eletrônicos que captam as ondas elétricas cerebrais (*Neurofeedback*), compreender os tipos e frequências das ondas, a atividade elétrica dos neurônios, os potenciais elétricos e o circuito neural, apresentam-se a seguir alguns conceitos de eletrônica.

Eletrônica é um ramo da eletricidade que opera com correntes elétricas baixas, porém muito bem controladas. Numa definição mais abrangente, pode-se dizer que a eletrônica é o ramo da ciência que estuda o uso de circuitos formados por componentes elétricos e eletrônicos, com o objetivo principal de representar, armazenar, transmitir ou processar informações além do controle de processos e servomecanismos⁵⁶ (RESENDE, 2004).

O circuito eletrônico é constituído de pelo menos três componentes: a) Fonte de alimentação, que fornece energia para o circuito trabalhar; b) Dispositivo de saída, que realiza trabalho útil; e c) Condutores, que interligam os componentes do circuito (são os fios e cabos, e algumas vezes a carcaça metálica do equipamento) (RESENDE, 2004).

O funcionamento básico de qualquer circuito eletrônico, até chegar ao resultado final, baseia-se no controle das grandezas elétricas, podendo ser moldadas de forma a que o projetista possa tirar proveito desses parâmetros e configurá-los em: controle da corrente (por meio do transistor), controle da resistência (por meio do resistor ou potenciômetro), controle da acumulação da carga ou tensão (por meio do capacitor), controle da amplificação da potência (por meio do diodo) (POLIDORI, 2009).

Assim, a eletrônica pode ser fundamentada em cinco grandezas que descendem da elétrica: corrente elétrica; resistência elétrica, tensão elétrica, potência elétrica e frequência. Cada uma destas grandezas será detalhada a seguir:

⁵⁶ Ou chamado atuador. É um elemento que produz movimento, atendendo a comandos que podem ser manuais, elétricos ou mecânicos.

a) Corrente Elétrica

Alguns geradores de eletricidade, como as pilhas e as baterias, apresentam duas regiões que se chamam polos. Um polo de maior potencial (+) e um polo de menor potencial (-), existindo então uma diferença de potencial. Nos condutores de eletricidade, os elétrons da última camada, elétrons livres, estão fracamente ligados ao núcleo. Desta forma, quando se conecta um fio condutor a uma bateria (gerador), os elétrons livres iniciam um movimento através do condutor, indo do polo de menor potencial (-) para o de maior potencial (+). Chama-se de corrente contínua (CC ou DC) quando os elétrons percorrem o condutor em um único sentido, e chama-se de corrente alternada (CA ou AC) quando o sentido da corrente varia (SILVA, 2017).

Somente é possível a passagem de corrente por um aparelho se este pertencer a um circuito fechado para completar um ciclo. Portanto, denomina-se corrente elétrica esse movimento ordenado ou alternado de cargas elétricas pelo condutor em um circuito elétrico (SILVA, 2017). A unidade de intensidade de corrente elétrica é o *Coulomb* por segundo, denominada *Ampère* (A).

b) Sinal Elétrico e Ruído

Considera-se como sinal elétrico a informação útil para o circuito. Qualquer informação indesejada, inútil, ou nociva, introduzida involuntariamente na corrente, é considerada ruído.

c) Resistência Elétrica

A resistência elétrica é a dificuldade que a corrente elétrica encontra quando passa por um condutor de eletricidade. Quanto mais resistência elétrica, menor será a corrente que atravessa o fio condutor. A energia elétrica retida converte-se em energia térmica (calor). A unidade de medida é *Ohm* (Ω). (SOUZA, 2016).

d) Tensão Elétrica

Geradores de eletricidade, como as pilhas e as baterias, há energia potencial armazenada (unidade de energia: *Joule*), no qual se conseguiu estabelecer dois de seus pontos: um que precisa de elétrons (+) e o outro que os tem sobrando (-). A diferença de quantidade (potencial) entre um e outro se chama tensão. Quanto maior a tensão do gerador, maior a corrente (maior velocidade). A unidade de tensão no Sistema Internacional é indicada pelo *Volt* (V). $V=J/A$. (LANA, 2005).

e) Potência Elétrica

Potência elétrica pode ser definida como o trabalho realizado pela corrente elétrica em um determinado intervalo de tempo. A potência é, então, a quantia

(produto) de tensão de energia (V), que passa na corrente elétrica (A), que está sendo transformada em cada unidade de tempo (J). A unidade de tensão no Sistema Internacional é indicada por *Watt* (W). $W=A \cdot V$. (BISQUOLO, 2006).

f) Frequência Elétrica

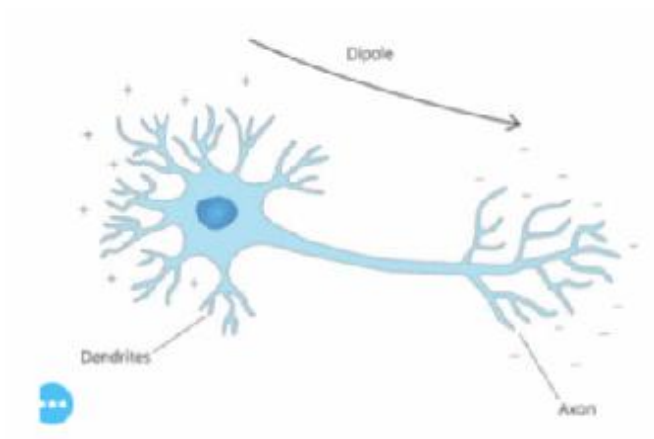
Frequência elétrica é definida como a quantidade de vezes que a corrente elétrica completa um ciclo por segundo. A frequência elétrica é uma grandeza dada em *Hertz* (Hz). Um *Hertz* é igual a um ciclo por segundo (c/s) (SANTOS, 2008).

Através destes conhecimentos de eletrônica, das ondas cerebrais e neurociências, desenvolveram-se dispositivos para detectar a atividade fisiológica do cérebro, como os descritos a seguir.

3.2.2.1 Eletroencefalografia (EEG)

O Eletroencefalograma mede a atividade elétrica que ocorre quando os neurônios recebem e transmitem informações. Quando as sinapses são ativadas em dendritos de neurônios, é criado um pequeno campo elétrico (dipolo) ao longo do corpo do neurônio devido à diferença de carga entre os dendritos e o axônio. Este campo elétrico apenas tem duração de alguns milissegundos.

FIGURA 21: Campo elétrico (dipolo)



Fonte: imagens do Google.

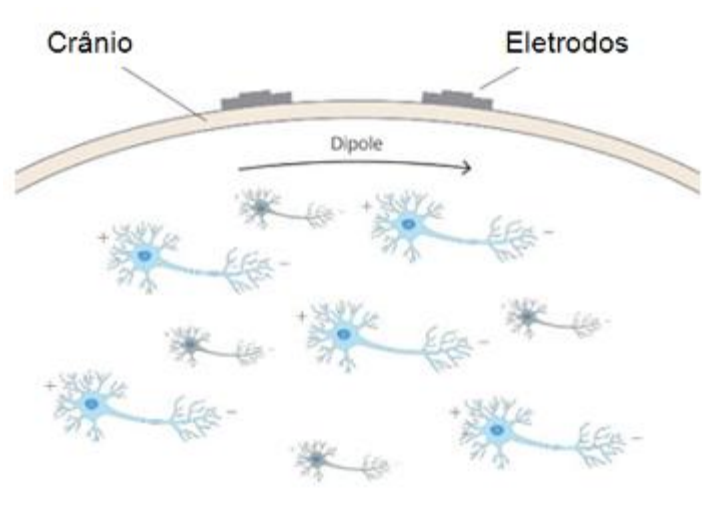
A Eletroencefalografia (EEG) é o estudo do registro gráfico das correntes elétricas desenvolvidas no encéfalo, realizado através de eletrodos⁵⁷ aplicados no

⁵⁷ Um eletrodo é um condutor através do qual a eletricidade flui. O dispositivo (Muse) usa eletrodos secos que não requerem gel condutor e podem ser colocados diretamente sobre a pele.

escalpo⁵⁸, na superfície encefálica, em posições pré-definidas (como na utilização do Sistema internacional 10-20), em que um amplificador aumenta a intensidade dos potenciais elétricos que posteriormente serão plotados num gráfico analógico ou digital, dependendo do equipamento.

Quando bilhões de neurônios trabalham juntos para produzir pensamentos, sentimentos e comportamentos, sua eletricidade pode ser detectada por eletrodos no couro cabeludo. Os campos elétricos produzidos por neurônios individuais são cada vez menores. No entanto, quando um grande número de neurônios corticais dispara ritmicamente, sua atividade pode produzir campos elétricos que são suficientemente grandes para serem detectados fora do crânio. Este processo é influenciado por muitos fatores, incluindo profundidade, orientação e subtipo de neurônios, e é um tema de pesquisa em andamento.

FIGURA 22: Campos elétricos (dipolo)



Fonte: imagens do Google.

Explica Sabbatini (2014) que o amplificador eletrônico aumenta milhares de vezes a amplitude do fraco sinal elétrico, que é gerado pelo cérebro, e que pode ser captado (geralmente menos do que alguns *microvolts*). Um dispositivo chamado galvanômetro, que tem uma pena inscritora presa ao seu ponteiro, escreve sobre a superfície de uma tira de papel, que se desloca a velocidade constante. O resultado é a inscrição de uma onda tortuosa.

As alterações dos padrões da normalidade permitem ao médico fazer a

⁵⁸ Escalpo ou couro cabeludo é a pele que reveste o crânio do ser humano.

correlação clínica com os achados do EEG. Podem-se observar descargas de ondas anormais em forma de pontas como, por exemplo: picos de onda, complexos ponta-onda ou atividades lentas focais ou generalizadas.

Cada traço horizontal corresponde a um par de eletrodos colocado em uma área determinada do escalpo de um paciente. Pela observação dos canais onde ocorrem ondas anormais (como as que estão marcadas em vermelho na Figura 2R), o médico é capaz de deduzir em que parte do cérebro a anormalidade está situada.

FIGURA 23: Padrões de ondas anormais



Fonte: Sabbatini (2014).

O registro da atividade cerebral, utilizando a eletroencefalografia, é amplamente aplicado na neurologia e psiquiatria. Na neurologia aplica-se no estudo de doenças focais no cérebro como, por exemplo, a epilepsia, a presença e a localização de tumores, avaliação de coma, morte encefálica, intoxicações, encefalites, síndromes demenciais, crises não epiléticas e distúrbios. Também é apropriada quando determinados distúrbios da consciência e vigiância estão presentes. Em psiquiatria, a topografia cerebral do EEG tem sido de utilidade para o diagnóstico diferencial de diversas enfermidades, tais como esquizofrenia, demências, hiperatividade, depressão e distúrbios da atenção (GUYTON, 2006; MOURA, 2013; PETERMAN, 2010).

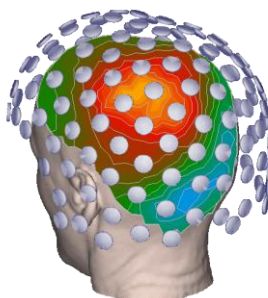
3.2.2.2 Topografia Cerebral de EEG

Dependendo da aplicação que se dá ao EEG, os aparelhos modernos permitem o registro simultâneo de 8 a 40 canais, em paralelo. Este é chamado de registro multicanal do EEG.

Com a possibilidade de registrar simultaneamente um grande número de canais digitalizados de EEG, uma nova técnica nasceu: a topografia cerebral do

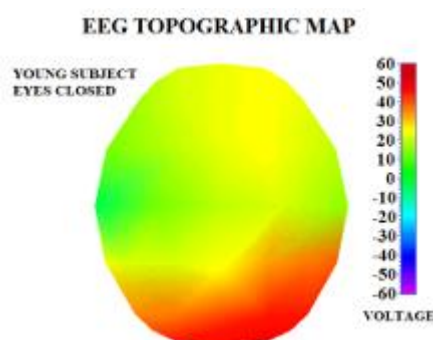
EEG. Conforme Sabbatini (2014), nesta técnica, um grande número de eletrodos é colocado na cabeça (FIGURA 24), formando um conjunto de arranjo geométrico, com pontos espaçados igualmente entre si. Um software especial dentro do computador do aparelho de EEG monta um gráfico da atividade elétrica, codificando a quantidade de atividade elétrica em um determinado lugar, na forma de gradações ou tonalidades de cor. Esta abordagem proporciona uma representação muito mais precisa e representativa da atividade cerebral, dando uma visão gráfica da localização de alterações na amplitude, ritmo, frequência e fase das ondas em relação à superfície do cérebro. Os pontos da cabeça que ficam entre os eletrodos são calculados através de técnicas matemáticas, que usam os valores dos seus pontos vizinhos e, assim, uma gradação de cores é atingida (FIGURA 25). Além disso, o uso de animações quadro a quadro de imagens tiradas de mapas cerebrais (o chamado modo cine) tornou possível pela primeira vez o estudo dinâmico da função cerebral em ação (SABBATINI, 2014).

FIGURA 24: Eletrodos em arranjo



Fonte: SABBATINI (2014).

FIGURA 25: Gradações de cor da atividade cerebral

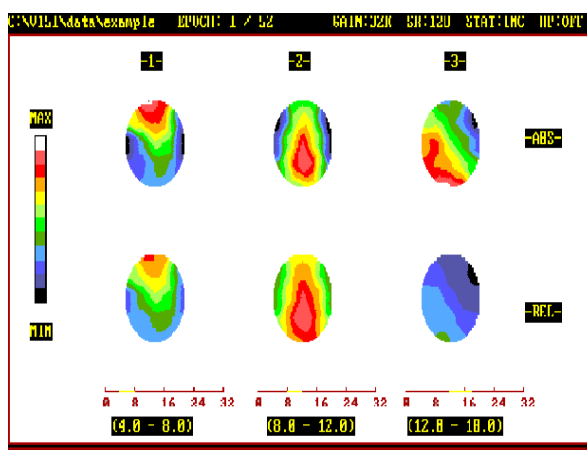


Fonte: SABBATINI (2014).

Já existem muitos sistemas comerciais de topografia cerebral do EEG em uso. Eles geralmente são instalados em um microcomputador. O software é

altamente flexível e permite a programação de muitas configurações e parâmetros de registro, assim como permite a construção de uma base de dados de referência. Normalmente, os registros multicanais podem ser mostrados simultaneamente na tela, ao lado do mapa colorido do cérebro reconstruído por software. Além disso, vários mapas tomados em ocasiões distintas podem ser mostrados lado a lado, para facilitar a comparação (FIGURA 26).

FIGURA 26: Mapas em ocasiões distintas



Fonte: SABBATINI (2014).

3.2.2.3 Eletrocorticografia (ECoG)

A ECoG mede a atividade neural de uma forma parecida com a EEG, porém os eletrodos são parcialmente invasivos, isto é, inseridos dentro do crânio, mas não entram em contato com o córtex.

As amostras da atividade neuronal de ECoGs comparadas as de EEGs convencionais, apresentam altas frequências de ritmo (onda *gamma* (>30Hz) quando investigadas em áreas corticais menores. Conseqüentemente, espera-se que a ICC integrada aos ECoGs promovam melhor acurácia e menor tempo de treinamento do que ICC integrada aos EEGs convencionais (MACHADO *et al*, 2009).

3.2.2.4 Tomografia por Impedância Elétrica (TIE)

Entre o córtex e os eletrodos dos EEGs convencionais, existem fatores que causam ruídos na leitura das ondas cerebrais, como as meninges, o crânio e a pele.

Estes possuem elementos como água das células, sódio, potássio, cálcio e outros elementos químicos. A dinâmica dos fluidos no interior do corpo humano afeta a impeditividade de corrente elétrica. Assim, impedância elétrica é a medida da capacidade de um circuito de resistir ao fluxo de uma determinada corrente elétrica quando se aplica certa tensão em seus terminais. Em outras palavras, impedância elétrica é uma forma de medir a maneira como a eletricidade "viaja" em cada elemento químico (MOURA, 2013; SANTIAGO, 2014).

A Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é um método não invasivo de obtenção de imagens da distribuição de impeditividade elétrica no interior de uma região de interesse. Esta tecnologia pode ser utilizada para visualizar a distribuição interna, espacial e temporal, de alguma propriedade física, contanto que exista uma relação entre a distribuição de impedância elétrica e a propriedade de interesse.

A TIE é um método de obtenção de imagens tomográficas de uso em muitas áreas. Para que a TIE possa auxiliar o médico no diagnóstico e no ajuste dos equipamentos, esta deve ser capaz de fornecer imagens em taxa suficiente para retratar a fisiologia do paciente. Nessa técnica da área médica transforma-se (através de algoritmos) medições elétricas da superfície de parte do corpo em imagem. Por isso, durante a realização do exame, eletrodos são ligados à pele do sujeito e as correntes alternadas são aplicadas a eletrodos, assim, os potenciais elétricos resultantes são medidos e, por algoritmos, é montada uma sequência de imagens, que podem ser relacionadas com o fenômeno de interesse. Este processo pode ser repetido em várias configurações diferentes de corrente aplicada (MOURA, 2013).

Algumas das aplicações propostas desta técnica incluem o monitoramento da função do pulmão, função cardíaca e fluxo sanguíneo, a detecção de câncer de pele e de mama e, na área neurológica, é utilizada na localização de focos epiléticos. Atualmente, todos os aplicativos são considerados experimentais. Matematicamente, o problema da recuperação da condutividade a partir de medições de correntes e potenciais é um problema inverso, não linear. Ou seja, é um problema matemático que capta muitos fatores variáveis e busca obtenção de uma solução única em algoritmos numéricos. Estudos sobre modelagem numérica e métodos numéricos, matriz de sensibilidade, otimização topológica, dentre outros, estão sendo realizados para obter resultados mais precisos (MOURA, 2013).

3.3 TÉCNICAS E SENSORES UTILIZADOS NAS ICC

Os computadores, juntamente com o surgimento dos conversores analógico-digitais, foram de extrema importância na evolução do registro eletroencefalográfico, proporcionando flexibilidade de uso e ferramentas cada vez mais completas para análise das ondas cerebrais (PETERMAN, 2010).

Peterman (2010), apoiado em Sabbatini (2014), resume que basicamente um conversor analógico-digital é um dispositivo eletrônico que capta uma onda continuamente variável e a transforma em uma lista de números. Cada número corresponde à medida de amplitude da onda, tomado a intervalos regulares de tempo. Essas medidas são chamadas de amostras, portanto o processo todo é chamado de amostragem. A amostragem é realizada em alta velocidade (tipicamente entre 100 e 200 amostras por segundo), e os números resultantes são armazenados na memória do computador. Cada canal de EEG tem o seu próprio processo de conversão analógico digital, ou digitalização, realizado em paralelo com os outros canais; e tudo isso acontece em tempo real, ou seja, acompanhando a velocidade das ondas cerebrais. Com a utilização de softwares específicos é possível formar imagens tridimensionais, construir animações dinâmicas em vídeo, gráficos coloridos detalhados e diversos outros recursos úteis.

O princípio de operação do sistema de ICC, de acordo com Machado (*et al*, 2009) é composto de 3 etapas: a) aquisição de sinais, b) interpretação dos dados e c) saída dos dados.

a) aquisição de sinais: a finalidade do processo de aquisição é obter sinais elétricos cerebrais com potência suficiente para uma relação sinal-ruído⁵⁹ favorável. Muitos investigadores recomendam a pré-amplificação e a digitalização analógica dos dados do registro para minimizar a deterioração do sinal. Esses registros são conseguidos através da utilização de diversos microfios ou disposições de múltiplos canais de eletrodos em áreas motoras mais superficiais, mas também podem ser alcançados em estruturas mais profundas do cérebro. Um fato a ser ressaltado é que alguns destes eletrodos são capazes de registrar grandes grupos de neurônios ao mesmo tempo, fato bastante importante para a extração de sinais para o uso de neuropróteses.

⁵⁹ Ruídos são fatores que podem interferir na qualidade da captação dos sinais, como a biologia da caixa craniana, fatores emocionais ou estímulos sensoriais externos.

b) interpretação dos dados: uma vez que o sinal for obtido do local de registro, este é encaminhado a uma unidade de processamento de sinal, através de comunicação telemétrica ou diretamente pelo fio. A principal finalidade da interpretação dos dados é transformar o sinal cerebral digitalizado em um código que melhor represente a ação desejada. Diversos modelos matemáticos, incluindo algoritmos de regressão linear, podem ser usados no processo de contínua interpretação e decodificação de informações, visando uma melhor funcionalidade de uma determinada intenção gráfica ou motora. Atualmente, através da decodificação, é possível reproduzir movimentos precisos através de avançados algoritmos e sistemas de registro⁶⁰.

c) saída dos dados: Após a tradução dos dados em coordenadas ou classes de saída apropriadas, estes podem ser usados para dar direção a uma variedade de dispositivos de saída, como controlar cursores de computador, criar gráficos, controlar motores de um dispositivo robótico, etc.

O protocolo de operação define o tempo real da interação entre o cérebro do usuário e o sistema de ICC. Isto fornece um ponto de partida entre usuário e operador, direcionando como as três etapas do funcionamento do sistema de ICC interagirão entre si para mediar detalhes da interação entre sistema e usuário. Dessa forma, as seleções são avaliadas para o usuário, fornecendo *feedback* de quando e como sua atividade poderá promover controle (MACHADO *et al*, 2009, p. 332).

Conforme Heidrich (*et al*, 2013), a ICC deve registrar a atividade diretamente do cérebro; deve possuir *feedback*; precisa ser em tempo real; e deve ser controlada pela iniciativa voluntária do usuário. Atualmente, existem duas aplicações importantes de um sistema de ICC. A primeira é prover um novo canal de comunicação para pacientes severamente limitados pela perda de todo controle muscular voluntário, incluindo os movimentos dos olhos. A segunda é restaurar as funções musculares em pacientes com lesões medulares, tanto para controlar a estimulação elétrica funcional quanto para operar neuropróteses. Para ambas as aplicações, são necessárias velocidade e precisão.

Pacientes que são capazes de idealizar e planejar movimentos, mas não os efetuam fisicamente podem se beneficiar da ICC. A comunicação é talvez a causa mais importante para o uso imediato do sistema de ICC pelos pacientes quando

⁶⁰ O processo de decodificação pode ser qualificada através do registro no sistema do *feedback* dos pacientes em função da prática das atividades desejadas. Isto reduziria a sobrecarga dos algoritmos.

nenhuma interação inteligível pode ocorrer de outra maneira. Mesmo simples interações podem ser inteligíveis, como responder questões com um simples sim ou não, e selecionar dentre uma pequena matriz de escolhas (MACHADO *et al*, 2009).

Uma das limitações encontradas no desenvolvimento de ICC é uma forma de garantir segurança e precisão aliada a um robusto acesso aos sinais neurais. Buscando tal robustez, estas interfaces podem ser invasivas, parcialmente invasivas ou não invasivas (PETERMAN, 2010).

3.3.1 Métodos Invasivos

Os métodos invasivos possuem maior precisão e resolução de sinais neurais em relação aos outros métodos. No entanto, oferecem um expressivo risco pelo fato dos dispositivos responsáveis por captar os sinais serem inseridos dentro do crânio e conectados diretamente ao córtex cerebral. Podem ser implantados na forma de chips, eletrodos e outras formas de dispositivos (PETERMAN, 2010).

São frequentemente utilizados no desenvolvimento de controles para próteses direcionadas para pessoas que perderam membros. Também para emular a visão ou audição.

3.3.2 Métodos Parcialmente Invasivos

O método parcialmente-invasivo consiste na implantação de dispositivos dentro do crânio, mas estes dispositivos não entram em contato com o córtex. Este método produz uma resolução de sinais superior aos métodos não invasivos, e as respostas são mais rápidas e não requer muito treinamento. No entanto, da mesma forma que os métodos invasivos, este põe em risco a segurança do usuário, embora em menor grau.

A Eletrocorticografia (ECoG) é comumente usada em dispositivos parcialmente invasivos, e consiste em uma promissora tecnologia intermediária entre os dispositivos que utilizam técnicas totalmente invasivas e as que utilizam técnicas não invasivas.

3.3.3 Métodos Não Invasivos

Os métodos não invasivos consistem basicamente em capturar a atividade neural a partir de eletrodos (ou qualquer outro dispositivo capaz de capturar o sinal elétrico neural) conectados ao escalpo. Diferente dos outros métodos, não necessita que dispositivos sejam inseridos dentro do crânio da pessoa, dessa forma, garante maior segurança física ao usuário.

A ICC não invasiva é uma técnica que vem sendo bastante útil para ajudar pacientes que sofrem de paralisia ou certas limitações neurológicas, as quais prejudicam a comunicação com o mundo externo. Além disso, esta técnica não submete o paciente aos riscos de uma cirurgia cerebral, porém propicia formas de comunicação limitadas (MACHADO *et al*, 2009).

A qualidade e a precisão dos sinais capturados a partir de métodos não invasivos são inferiores aos métodos invasivos. Isto ocorre porque a caixa craniana, através dos ossos e da pele, bloqueia grande parte do sinal elétrico, fazendo com que as ondas cerebrais cheguem até os eletrodos conectados a superfície da cabeça com uma intensidade muito baixa.

Assim, as interferências externas são um fator a considerar, tendo em vista que estas interferências causam distorções tanto na emissão quanto no registro das ondas cerebrais (MACHADO *et al*, 2009). Em contrapartida, o avanço das tecnologias de Eletroencefalografia e de Tomografia por Impedância Elétrica vem proporcionando maior qualidade e precisão no emprego de técnicas não invasivas, permitindo que interfaces mais precisas fossem construídas ao decorrer do tempo, de forma segura e confiável.

O principal argumento negativo relacionado ao uso da ICC não invasiva era sua capacidade limitada de representar mais de duas alternativas de sinal (como por exemplo, sim e não, seleciona e ignora e etc.). No entanto, foi observado pelo experimento de Wolpaw (*et al*, 2006) que, em pacientes com lesões medulares, foi possível controlar cinco diferentes direções através da modulação de ritmos provenientes do córtex sensório-motor. Estes achados indicam que movimentos complexos podem ser integrados a sofisticados modelos de um sistema de comando multidimensional (MACHADO *et al*, 2009).

3.4 EXPERIMENTOS COM INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR

As pesquisas na área de Interface Cérebro-Computador – ICC (*Brain Computer Interface - BCI*) tiveram início por volta dos anos 70, com intuito de desenvolver próteses que pudessem ser controladas pelo cérebro, para reabilitar pessoas com amputação de membros do corpo (RODRIGUES, 2004).

O primeiro pesquisador a desenvolver uma ICC que permitisse que pessoas com cegueira adquirida pudessem enxergar novamente foi o Willian Dobbelle, em 1978. Dobbelle desenvolveu seu primeiro protótipo composto de sessenta e oito eletrodos conectados ao córtex visual e câmeras montadas em um óculos que envia os sinais ao implante. O dispositivo foi implantado em um homem que ficou cego depois de adulto (RODRIGUES, 2004).

Em 1980, Georgopoulos, um cientista da Universidade Johns Hopkins, descobriu uma relação matemática entre as respostas elétricas geradas no córtex-motor de macacos quando estes moviam seus braços em determinadas direções. Porém ele só conseguia captar sinais neurais em uma área de cada vez, devido às limitações impostas por seu equipamento. Já em 1988, Farwell e Donchin⁶¹ publicaram o primeiro sistema de ICC baseado em EEG, permitindo que pessoas com paralisia pudessem enviar comandos a um computador (RODRIGUES, 2004).

Com a evolução da computação, novos recursos e tecnologias foram surgindo e, em 1990, com experimentações em animais, as primeiras próteses foram testadas em humanos. Muitos cientistas tiveram avanços significativos na área de ICC. Destacam-se entre esses grupos de pesquisas os liderados por Richard Andersen, John Donoghue, Miguel Nicolelis, Philip Kennedy e Andrew Schwartz. Dentre as pesquisas destaca-se a de Philip Kennedy que, com sua equipe, construiu a primeira Interface Cérebro Computador invasiva, implantada em um macaco utilizando eletrodos (PETERMAN, 2010).

Em 1999, um grupo de pesquisa liderado por Yang Dan, da Universidade da Califórnia, utilizando uma ICC com eletrodos conectados ao tálamo de gatos, conseguiu reproduzir imagens em um computador a partir da visão desses animais (PETERMAN, 2010).

Em meados de 2000, Nicolelis, em conjunto com outros pesquisadores,

⁶¹ L. A. Farwell & E. Donchin, "Talking off the top of your head: A mental prosthesis utilizing event-related brain potentials", *Electroencephalograph. Clin. Neurophysiol.*, vol 70, pp. 510-523, 1988.

conseguiu que um macaco movimentasse um braço robótico utilizando uma Interface Cérebro Computador não invasiva (NICOLELIS *et al* 2008).

Em 2004, pesquisadores da Universidade de Washington em St. Louis, construíram um dispositivo que permitiu que um garoto jogasse o jogo *Space Invaders* (jogo clássico de videogame desenvolvido em 1978) utilizando a tecnologia de ECoG (PETERMAN, 2010).

Em 2005, a empresa Cyberkinetics Neurotechnology's desenvolveu a primeira ICC que possibilitou que um homem tetraplégico controlasse um braço artificial. Matt Nagle foi o primeiro homem a controlar um braço robô utilizando uma ICC invasiva, o chip-implante, chamado BrainGate era composto por 96 eletrodos conectados ao córtex motor do paciente.

Os avanços na área de ICC têm alcançado grandes avanços. Um dos maiores pesquisadores nessa área de ICC é o médico brasileiro Miguel Nicolelis, que liderou um grupo de pesquisadores da área de Neurociência da Universidade Duke (Durham, Estados Unidos) no campo de fisiologia de órgãos e sistemas, na tentativa de integrar o cérebro humano com máquinas (neuropróteses ou interfaces cérebro-máquina). Nicolelis também concebeu e lidera o projeto do Instituto Internacional de Neurociências de Natal (IINN), capital do Rio Grande do Norte. O objetivo das suas pesquisas é desenvolver próteses neurais para a reabilitação de pacientes que sofrem de paralisia corporal. Nicolelis e sua equipe foram responsáveis pela descoberta de um sistema que possibilita a criação de braços robóticos controlados por meio de sinais cerebrais (PETERMAN, 2010).

Em 2013, Nicolelis e sua equipe publicam um novo avanço, pois além de conseguir que através da ICC um macaco movimentasse um braço de cada vez, conseguiu que macacos *rhesus* controlassem dois braços simultaneamente. Além disso, ao invés de braços robóticos, foram utilizados braços virtuais de um avatar. A ICC bimanual baseou-se na atividade extracelular de 374-497 neurônios gravados a partir das regiões frontais e parietais corticais de ambos os hemisférios cerebrais. A atividade cortical (ondas cerebrais) foi transformada em movimentos dos dois braços com um algoritmo de decodificação chamado *Unscented Kalman Filter* (UKF) (MOURA, 2013).

O *Unscented Kalman Filter* (UKF) é um dentre vários algoritmos de decodificação. Um algoritmo de segmentação de imagem é desenvolvido para, assim, selecionar o modelo de evolução correto. O método do erro de aproximação é

utilizado para reduzir os erros do modelo de observação (MOURA, 2013).

Uma questão importante que se levanta no uso do método do erro de aproximação é o que acontece quando o modelo fidedigno ainda está aquém do ideal. Isto ocorre, por exemplo, nos modelos de eletrodos: na prática, eletrodos com grande área de contato causam problemas na imagem estimada se as distâncias entre os eletrodos não estiverem corretamente representadas no modelo matemático ou se estas distâncias não forem corrigidas de alguma forma. Nestes casos, usar eletrodos menores reduz o problema. Outras fontes de incertezas que aparecem podem ser citadas, como o comportamento térmico dos componentes do circuito de aquisição e interferência eletromagnética (MOURA, 2013).

Assim, os filtros de Kalman (U FK) abordam o problema de estimação sob o ponto de vista probabilístico, procurando encontrar a distribuição de probabilidade do estado condicionada à realização das medidas. Para que estes filtros possam ser utilizados, um modelo de registro de evolução temporal do sistema sendo observado deve ser adotado no Unscented Kalman Filter (MOURA, 2013).

As conclusões da pesquisa de Nicoletis referenciaram que a maioria dos neurônios corticais mudou seus padrões de modulação (plasticidade cerebral) quando ambos os braços estavam envolvidos simultaneamente. Representando os dois braços em conjunto, em um único decodificador UKF, resultaram em um melhor desempenho de decodificação em comparação com o uso de decodificadores separados para cada braço. Estes resultados sugerem que as redes corticais podem assimilar os dois braços do avatar através do controle da ICC. Estes resultados devem ajudar nos projetos de ICC mais sofisticados, capazes de permitir o controle motor bimanual em pacientes humanos.

Lebedev e Nicoletis (2006) apontam quatro perspectivas para futuras pesquisas:

a) Gravações de longo prazo da atividade neuronal de várias áreas do cérebro:

Embora a gravação de neurônios individuais seja a primeira escolha de neurofisiologistas, os sinais de várias unidades que compõem a atividade de alguns neurônios também podem ser utilizados de forma eficiente no controle da ICC. Além disso, vários relatórios sugeriram o uso de locais potenciais de áreas cerebrais. É concebível que, no futuro, os aparelhos neuroprotéticos avançados usarão soluções mistas, em que a combinação de vários tipos de sinais neurais será gravada e

processada. Esta escolha levanta uma dúvida sobre quantos neurônios que uma ICC precisaria experimentar para produzir saídas eficazes.

b) Desenvolvimento de algoritmos para traduzir a atividade neuronal em sinais de comando para atuadores artificiais:

Atualmente, os neurocientistas estão longe de obter uma compreensão clara de como a informação motora e cognitiva é processada pelas populações de neurônios que formam grandes circuitos cerebrais. Taxa de codificação, codificação temporal e princípios de codificação populacional foram sugeridos, e vários paradigmas experimentais, incluindo ICC, foram desenvolvidos para testar a validade desses conceitos.

Apesar de haver uma grande variedade de algoritmos lineares e não lineares para traduzir a atividade neuronal em comandos para atuadores artificiais, têm sido relativamente simples os modelos algoritmos de regressão linear múltipla, pois se revelou eficiente em muitos projetos práticos de ICC. Métodos lineares podem incorporar algoritmos adaptativos que continuamente atualizam os parâmetros do modelo, enquanto os sujeitos treinam.

c) Uso da plasticidade do cérebro para incorporar dispositivos protéticos⁶² para a representação do corpo:

Experimentos psicofísicos apoiam a noção de que o uso contínuo de uma ferramenta leva ao remapeamento do "esquema corporal" nos seres humanos. Assim, um estudo de neuroimagem descreveu ativações específicas do córtex pré-motor ventral direito durante a manipulação de uma mão protética mioelétrica. Em conjunto, esses resultados sugerem que o uso em longo prazo de um atuador artificial, controlado diretamente pela atividade do cérebro, pode levar a substancial remapeamento cortical e subcortical. Como tal, este processo pode provocar a experiência perceptiva vívida que o atuador artificial torna-se uma extensão do corpo do sujeito, em vez de uma mera ferramenta. Essa sugestão é apoiada pelo relatório de ativação primária sensorio córtex durante movimentos voluntários percebidos de membros fantasmas em amputados.

d) Fazer sentir a prótese como membro do sujeito usando microestimulação de áreas sensoriais do córtex:

Sensações periféricas e sinais proprioceptivos contribuem para o

⁶² Prótese. Substituição de uma parte do corpo por uma peça artificial.

funcionamento normal dos próprios membros e da percepção de que eles são parte do corpo. Para uma neuroprótese se comportar e se sentir como um apêndice natural do corpo do sujeito, ela terá que estar equipada com vários sensores que podem fornecer múltiplos canais de informação "sensorial" de volta para o cérebro do sujeito. Na maioria dos projetos atuais de ICC, os indivíduos recebem informações sensoriais do sistema através de *feedback* visual. Previsões de parâmetros motores são menos estáveis na ausência de *feedback* visual do que quando ele está presente. Curiosamente, o uso de retorno tátil e proprioceptivo na pesquisa em ICC permanece largamente inexplorado. Explora-se, atualmente, a possibilidade de devolver uma informação com *feedback* sensorial, gerado no atuador para o cérebro, através do uso de microestimulação multicanal de áreas corticais somatossensoriais e pela decodificação de estímulos vibratórios aplicados a seus braços.

Dentre algumas dificuldades de desenvolvimento de ICC apontadas por pesquisadores encontra-se a falta de apoio e interesse governamental em estudos de desenvolvimento tecnológico, bem como sistemas acadêmicos que direcionam pesquisas isoladas e promovem avaliações de produções individuais, o que dificulta estudos no campo da ICC, que requer pesquisadores multidisciplinares e cooperação entre várias áreas interdisciplinares (GRAIMANN, ALLISON e PFURTSCHELLER, 2010; HEIDRICH, 2013; NICOLELIS, 2008; PETERMAN, 2010; VALLABHANENI e WANG, 2004). Pesquisadores apontam que para ampliar interesse em estudos de ICC é necessário que essas tecnologias se popularizem cada vez mais (VALLABHANENI e WANG, 2004; GRAIMANN, ALLISON e PFURTSCHELLER, 2010).

No dia 12 de junho de 2014, Nicolelis e sua equipe realizaram a demonstração pública do exoesqueleto controlado pelo cérebro de um paciente paraplégico, na cerimônia de abertura da Copa do Mundo realizada no Brasil, colocando a ciência brasileira em evidência mundial.

Em março de 2017, no início das transmissões da temporada de Fórmula 1, a Globo, em parceria com o Instituto Rodrigo Mendes, divulgou⁶³ um experimento de uma pessoa com tetraplegia pilotando um carro de corrida usando comandos

⁶³ Vide em: <<https://redeglobo.globo.com/Responsabilidade-Social/respeito/noticia/respeito-em-feito-inedito-no-mundo-campanha-mostra-pessoa-com-tetraplegia-pilotando-carro-de-corrida-por-comandos-cerebrais.ghtml>>. Acessado em: 22/jan/2018.

cerebrais. O piloto foi Rodrigo Mendes, que ficou sem movimentos do pescoço para baixo após levar um tiro durante um assalto. O veículo foi especialmente projetado pela equipe de tecnologia da TV Globo, como parte da campanha "Tudo começa pelo Respeito", lançada pela emissora em 2016. Para o desenvolvimento do projeto, envolvendo mais de 100 profissionais de diferentes áreas da TV Globo, um carro de corrida foi especialmente projetado e equipado com um sistema de ICC. Rodrigo usou um capacete no qual foram instalados sensores de ondas cerebrais. Por meio de um software que armazenou o mapeamento dos impulsos elétricos produzidos pelas ondas cerebrais do piloto, as informações foram enviadas para decodificação em um computador de bordo conectado ao sistema de direção. Além dos sensores cerebrais, o carro foi equipado com um sistema de inteligência artificial para controle totalmente computadorizado, de onde se aciona direção, acelerador, freio, embreagem e mudança de marcha. Para segurança de Rodrigo, o veículo contou com um receptor remoto e uma comunicação direta com as equipes.

Em uma feira de competição internacional de ciência pré-universitária, *Intel International Science and Engineering Fair (Intel Insef)*, ocorrida em maio de 2017, o jovem Luiz Fernando da Silva Borges foi um dos destaques com o projeto "Hermes Braindeck: uma interface cérebro computador para comunicação com pacientes inicialmente classificados como Comatoso ou Vegetativo". A Hermes Braindeck⁶⁴ é um equipamento, que cabe numa maleta, e usa a tecnologia de interface cérebro computador para avaliar se uma pessoa inicialmente classificada como comatosa ou vegetativa consegue ouvir e obedecer à comandos de imaginar tarefas específicas. Utiliza-se de fone de ouvido, touca de EEG, aparelho de EEG, unidade de processamento e de feedback conectada ao computador. Esta técnica permite que pessoas totalmente paralisadas, mas ainda responsivas mentalmente, não sejam classificadas, erroneamente, como em estado vegetativo ou em coma, pelos métodos atuais (que só levam em conta movimentos do corpo). Uma vez sendo detectada responsividade no paciente, o software, com lógica binária, converte padrões específicos de atividade cortical elétrica, do paciente, em respostas "SIM" e "NÃO". Os testes com pacientes serão realizados na Santa Casa de Campo Grande, em Mato Grosso do Sul, mas em voluntários saudáveis, o sistema obteve 80% de acurácia em respostas "SIM" e "NÃO" e capacidade de escolha de seis letras em

⁶⁴ Site do proprietário: <http://www.hermesbraindeck.com>

quinze minutos⁶⁵.

3.5 DISPOSITIVOS DE ICC PORTÁTEIS

A seguir descrevem-se os dispositivos de ICC portáteis disponíveis no mercado.

3.5.1 Neural Impulse Actuator - NIA™

A primeira ICC comercial voltada para o usuário final foi lançada em 2008 e recebeu o nome de NIA™ (*Neural Impulse Actuator*, ou, Atuador de Impulsos Neurais), e foi desenvolvido pela OCZ Technology com a proposta de fornecer uma nova experiência em games para os usuários. Ele é um sistema de controle que traduz as ondas cerebrais e movimentos dos músculos da face para sinais a serem entendidos por jogos. A ideia do conceito é aumentar as reações em até 60%, eliminando o gasto de tempo entre o comando que nasce no cérebro e a execução por parte da mão sobre o mouse (GODIRRO, *online*, 2008).

FIGURA 27: NIA™ - Neural Impulse Actuator



Fonte: GODIRRO (2008).

Para instalar o NIA basta plugá-lo a uma porta USB no computador e ajustar a faixa na cabeça. No entanto, é preciso em cada uso calibrar o aparelho através do

⁶⁵ Dados conforme o autor, divulgado em vídeo disponível em: <http://www.hermesbraindeck.com>.

software da OCZ para entender oito diferentes sinais: da tensão dos músculos da face, do movimento lateral dos olhos e, finalmente, do cérebro (três sinais de ondas alfa e outros três para ondas beta). Tudo é feito por um programa tutorial que guia o usuário através de uma assistente virtual. Ele é bastante abrangente e complexo.

Conforme Godirro (*online*, 2008), a primeira sensação é de completa estranheza e, ao mesmo tempo, assombro com a capacidade de controlar um jogo com a cabeça apenas. Há uma curva de aprendizado de alguns dias, e apesar de umas duas semanas jogando, ainda se tem a impressão de não dominar por completo o equipamento [...] mas a sensação de imersão é bem maior.

[...] Durante o teste, algumas reações equivocadas, como cair de uma plataforma por uma má interpretação do aparelho (ou uma careta errada da sua parte), frustram. E também há um problema não pensado pela OCZ: como o ato de falar movimentada a face, fica-se impossibilitados de usar a comunicação entre os outros participantes da partida via headset, assim como beber uma água ou fazer um lanche rápido (GODIRRO, *online*, 2008).

3.5.2 BCI2000

BCI2000 consiste em um conjunto de softwares de código aberto da Shalk Lab, com finalidade genérica para estudos ligados à interface cérebro computador. Ele também pode ser usado para a aquisição de dados para mapeamento funcional cortical, apresentação do estímulo para exercício de atenção e concentração, e aplicações de monitoramento cerebral, como da audição e linguagem. Nestas últimas, o trabalho utiliza sinais gravados a partir da superfície do cérebro (com ECoG) para caracterizar os correlatos neurais da função auditiva e de linguagem em detalhe elevado.

O uso do BCI2000 é gratuitamente fornecido para fins de pesquisa e fins educacionais sem fins lucrativos, financiado pelo *National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering* (NIBIB) como parte do Centro Nacional de Neurotecnologias Adaptáveis.. Alguns trabalhos publicados em revistas de neuroengenharia e clínicas são disponibilizados na página da Shalk Lab (<http://www.schalklab.org>), e atravessam domínios científicos, de diferentes áreas acadêmicas.

FIGURA 28: BCI2000

Fonte: Google Imagens

O projeto BCI2000 (ligado ao Center For Medical Sciences, de New York) visa ser uma ferramenta de software amplamente utilizada para diversas áreas de processamento de sinais biológicos em tempo real.

3.5.3 OpenEEG

O OpenEEG consiste em um projeto open-source, distribuído sob a licença GNU/GPL, que fornece especificações necessárias para a construção de um sistema de EEG de baixo custo. O foco do projeto é o interesse de pessoas em neurofeedback ou treinamento de biofeedback EEG, um método genérico de treinamento mental sobre o estágio consciente da atividade geral no cérebro. Este método mostra grande potencial para melhorar muitas capacidades mentais e explorar a consciência.

No site do OpenEEG Project⁶⁶ está toda a documentação necessária para a implementação do projeto, como placa de circuitos, lista de componentes eletrônicos necessários, firmware para o dispositivo e projeto dos eletrodos utilizados. Fornece também vários softwares que podem ser utilizados com o dispositivo para leitura e manipulação dos dados. É necessário conhecimento em eletrônica para que se possa desenvolver o projeto de forma satisfatória (PETERMAN, 2010).

3.5.4 OpenBCI

OpenBCI é uma plataforma versátil e acessível para captação do sinal EEG

⁶⁶ <http://openeeg.sourceforge.net/doc/index.html>

com 8 canais construídos para o dispositivo ADS1299 Analog Front End IC, da *Texas Instrument*. É compatível com qualquer tipo de eletrodo e pode interagir com quase todas as modernas plataformas de prototipagem eletrônica, como Arduino⁶⁷. OpenBCI apoia-se na estrutura de software open-source de algoritmos de processamento de sinal e análise de dados. Assim, este sistema de captura de dados torna-se customizável.

FIGURA 29: OpenBCI conectado ao Arduino



Fonte: OpenBCI (2014)⁶⁸

A proposta da OpenBCI²³ é romper com a falta de alternativas de acesso a dispositivos fixos, com acesso limitado ou fechado para os algoritmos que traduzem sinais de EEG brutos em dados significativos. Estes dispositivos são poderosos e eficazes para o desenvolvimento de aplicativos, mas não ideal, já que exige configurações de hardware ajustável e controle direto sobre as técnicas de processamento de sinal. Assim, o OpenBCI propõe-se ser acessível e alimentado por uma comunidade open-source de construtores de hardware e software, tornando mais fácil para os criadores de qualquer nível de habilidade e ideal para os pesquisadores. A plataforma OpenBCI se destina a servir como ponto de partida maleável no crescente campo da interface cérebro computador.

Além de softwares open-source, há um circuito que foi atualizado desde a primeira versão, para permitir duas ou mais placas de encadeamento. Além disso, existem duas variantes de V2, cada um com diferentes conversores AC/DC, que possibilitam que protótipos iniciais se ajustem às formas de Arduino.

⁶⁷ plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, com suporte de entrada/saída embutido, e uma linguagem de essencialmente C/C++.

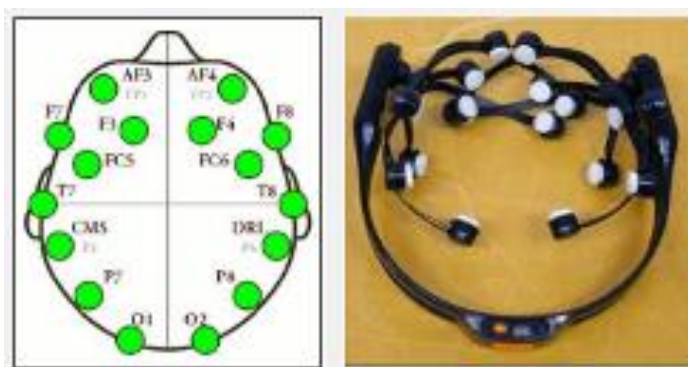
⁶⁸ <http://www.openbci.com/>

3.5.5 Emotiv® Epoc

O Epoc⁶⁹ consiste em um dispositivo multicanal com Interface Cérebro Computador produzido pela empresa australiana Emotiv® Systems. Possui 16 sensores de EEG que captam as ondas cerebrais e as interpretam, possibilitando identificar alguns padrões e, dessa forma, permite ao usuário executar ações (PETERMAN, 2010).

Possui três modos de identificação: *Expressiv* (Identifica as expressões faciais), *Affective* (Identifica sentimentos) e *Cognitiv* (Permite interagir utilizando as funções cognitivas, ou seja, apenas o pensamento⁷⁰). A comunicação com o computador é feita de forma wireless.

FIGURA 30: Emotiv® Epoc



Fonte: Google Imagens

O dispositivo acompanha um completo kit de desenvolvimento para os desenvolvedores que desejam criar aplicações para o mesmo, o que contribui muito para o desenvolvimento do projeto.

3.5.6 Emotiv® Insight

O Insight⁷¹ consiste em um dispositivo de 5 canais com Interface Cérebro Computador, também produzido pela empresa australiana Emotiv® Insight.

⁶⁹ <https://emotiv.com/epoc/>

⁷⁰ Atenção e concentração.

⁷¹ <https://www.emotiv.com/insight/>

FIGURA 31: Emotiv® Insight

Fonte: Emotiv® Systems

O Emotiv® Insight é o único dispositivo em sua categoria que oferece 2 sensores de referência, além dos 5 sensores EEG (AF3, AF4, T7, T8, Pz). Esta alta resolução espacial fornece informações detalhadas sobre sua atividade cerebral. O Universal USB Receiver é necessário para uso com dispositivos que não suportam o protocolo Bluetooth SMART e é altamente recomendado usar o Insight com um PC com Mac OSX, Windows 7+ ou Linux.

3.5.7 NeuroSky® MindSet Mindwave

O NeuroSky® MindSet é uma ICC desenvolvido pela empresa americana NeuroSky®. O dispositivo possui apenas um sensor e utiliza EEG para captar os sinais cerebrais. Seu foco é voltado para o mercado de jogos, e é utilizado também em conjunto com alguns brinquedos infantis. O dispositivo disponibiliza uma suíte de desenvolvimento e várias ferramentas para auxiliar os desenvolvedores na criação de aplicações e jogos utilizando o MindSet (PETERMAN, 2010).

Algoritmos NeuroSky fornecem a base de um universo de aplicações que podem ser construídos para otimizar a saúde do cérebro, educação, atenção e função global. O medidor de Atenção indica a intensidade do nível de um usuário no "foco" mental. Seu valor varia de 0 a 100, em que o nível de atenção aumenta

quando o usuário se concentra em um único pensamento ou um objeto externo, e diminui quando distraído. O medidor de Meditação indica o nível da saúde mental, ou seja, a "calma" de um usuário ou "relaxamento". Seu valor varia de 0 a 100, em que o nível aumenta quando o usuário relaxa sua mente e diminui quando ele sente-se desconfortável ou estressado (NEUROSKY⁷²).



Fonte: Google Imagens

3.5.8 Muse™ Interaxon

Controlar dispositivos eletrônicos por meio de ondas cerebrais é a proposta do dispositivo Muse™, da empresa Interaxon. O acessório, em forma de uma tiara de plástico, se encaixa atrás das orelhas e é fixado na testa do usuário, para identificar e transmitir os comandos do cérebro para *smartphones* ou *tablets*.

A Interaxon tem trabalhando com tecnologias de interação entre o cérebro e o computador desde 2007. Nos Jogos Olímpicos de Inverno de Vancouver, em 2010, a Interaxon fez uma instalação que permitiu que os visitantes usassem ondas cerebrais para afetar mudanças no *Light Shows* (show de luzes) ao vivo, iluminando os principais marcos históricos de Ontário, em tempo real e a 3500 km de distância.

O Muse™ traduz ondas cerebrais para a linguagem dos computadores, analisando a frequência de ondas cerebrais e, em seguida, traduz em um sinal de

⁷² <http://neurosky.com/>

controle para o computador. Usa dois sensores na parte frontal e dois atrás das orelhas.

FIGURA 33: Muse™ Interaxon



Fonte: Interaxon⁷³

3.5.9 IMEC and Holst Centre

Imec e Holst Centre é um headset sem fio, com função de eletroencefalograma (EEG) que permite uma interface cérebro computador para monitorar emoções e humor em situações da vida diária, utilizando um aplicativo de Smartphone. As ondas cerebrais registradas são processadas e os resultados são enviados sem fios a uma estação de base. Pode eventualmente substituir os sistemas de EEG de hoje, incluindo os scanners nos hospitais e os utilizados para a digitalização de EEG em ambulatório, como os de monitorar pacientes epiléticos.

FIGURA 34: IMEC and Holst Centre



Fonte: Google Imagens

Os eletrodos secos devem ser aplicados à cabeça, com uma pressão suficiente para a medição. No entanto, aumentando a pressão vem o desconforto do usuário durante longos períodos de tempo.

⁷³ <http://www.interaxon.ca/>

3.6 SISTEMA DE SOFTWARE VOLTADO PARA A ICC

Como descrito nos capítulos anteriores, diversas pesquisas buscaram verificar e validar ferramentas e aplicações com a Interface Cérebro Computador. Enquanto alguns estudos focavam numa verificação de fatores internos do desenvolvimento de sistemas de ICC, em que o programador buscava certificar-se que estava fazendo “certo” o sistema, outros estudos focavam na validação operacional, em que se buscava certificar que estava construindo o produto "certo" para os usuários (PRESSMAN, 2007). Portanto, foi pertinente levantar estudos experimentais e aplicados para conferir os objetivos e requerimentos de sistema, que são especificados pelos autores para que sejam devidamente atendidos na ICC.

Assim, esta seção descreve alguns fundamentos de desenvolvimento de software necessários para elaborar e implementar um sistema computacional, transformando a necessidade de um utilizador em um produto de software.

Os desenvolvedores de software, além de prestarem o serviço de programação, precisam garantir sua continuidade e qualidade. No entanto, frente ao rápido crescimento da demanda por software, do avanço tecnológico e da complexidade dos problemas a serem resolvidos para cada necessidade do usuário final, faltavam técnicas estabelecidas para o desenvolvimento de sistemas que funcionassem adequadamente ou pudessem ser validados. As causas dessa crise do software⁷⁴ estão ligadas a complexidade do processo de desenvolvimento, tais como projetos ingerenciáveis, estourando o orçamento ou o prazo; software de baixa qualidade, que muitas vezes não atingem os requisitos ou com o código difícil de manter.

Para isso, surge a engenharia de software como a área do conhecimento responsável pelo estabelecimento de técnicas e práticas que permitem ao desenvolvedor especificar, projetar, implementar e manter sistemas, avaliando e garantindo suas qualidades e cobrindo uma ampla área de aplicações e de diferentes tipos de dispositivos. Esse significado já traz os conceitos de criação, construção, análise, desenvolvimento e manutenção.

A Engenharia de Software se concentra nos aspectos práticos da produção

⁷⁴ Uma das primeiras referências ao termo "crise do software" foi feita em 1960, por Edsger Dijkstra, na apresentação feita em 1972 na Association for Computing Machinery Prêmio Turing, intitulada "The Humble Programmer" (EWD340), publicada no periódico Communications of the ACM

de um sistema de software, enquanto a ciência da computação estuda os fundamentos teóricos dos aspectos computacionais. Dentro desse contexto, este capítulo aborda os fundamentos teóricos para direcionar os aspectos práticos, mas se delimitará aos requisitos de sistema de software voltado para a Interação Cérebro Computador.

O esforço inicial deste estudo foi descrever alguns conceitos e requisitos de software básicos na qualidade em uso da ICC, para utilizar no desenvolvimento do sistema pretendido. Os critérios de inclusão na coleta de dados foram estudos experimentais e aplicados que abordassem os conceitos e princípios básicos sobre ICC em humanos, com discussões sobre requisitos de software e as perspectivas da técnica de ICC para, assim, identificar pontos que emergem na interação dos sujeitos e a tecnologia projetada.

Além de considerar os requisitos de software, é necessário compreender as características necessárias do Usuário Final, já que os princípios e práticas de engenharia de requisitos se aplicam a sistemas completos. Um sistema é a coleção de componentes: máquina, software e humanos (HULL, JACKSON e DICK, 2004).

3.6.1 Características necessárias do Usuário Final

Machado (2009) relata que a aplicabilidade da ICC ocorre mediante a capacidade de idealizar e planejar. Assim, o usuário final precisa ter preservado o córtex, principalmente nas áreas associativas (interpretação de sensações e elaboração de planos de ação), a área de Wernicke (metacognição: pensamento e linguagem) e a área para a memória de curto prazo. Somente assim será possível, por parte do usuário, desenvolver Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA) para operar o sistema.

Diferentes autores referem a necessidade de haver iniciativa voluntária do usuário em emitir determinados pensamentos e possuir capacidade para a aprendizagem de controlar sinais biológicos (biofeedback). O feedback do sistema, isto é, a ação que o sistema realiza a partir de um pensamento colabora com essa aprendizagem e contribui para promover neuroplasticidade. Assim, cabe ao sistema otimizar o processo de ensino-aprendizagem e, em alguns casos, utilizar-se do uso da plasticidade do cérebro para incorporar dispositivos protéticos como

representação do próprio corpo (HEIDRICH, 2013; LEBEDEV e NICOLELIS, 2006; MACHADO, 2009; MIRANDA, 2006; NICOLELIS, 2008; VIVEIROS e CAMARGO, 2010).

A ICC não pode comprometer o estado físico da pessoa, visto que uma cirurgia cerebral pode afetar os requisitos humanos e submeter o paciente aos riscos de vida. Então, embora menos precisas, as ICC não invasivas são mais seguras (HEIDRICH, 2013).

3.6.2 Requisitos de Software

Não existe vento favorável a quem não sabe onde deseja ir. A partir desta metáfora, Hull, Jackson e Dick (2004) abordam que não basta lançar um produto (software), mas é preciso ser o produto certo, ou seja, conhecer o escopo da necessidade, ligar todas as informações de desenvolvimento para gerenciar uma solução que seja adequada e eficaz. Assim, os requisitos de software proporcionam tanto a "carta de navegação" como os meios de direção para o destino selecionado.

Requisitos do sistema de software são as necessidades que o software deve cumprir. É saber aonde quer chegar. Requisitos é a base para todos os projetos, definindo o que as partes interessadas (usuários, clientes, fornecedores, desenvolvedores, empresas) precisam que o sistema faça para satisfazer essa necessidade.

Nisto reside o desafio: capturar a necessidade ou problema por completo para conduzir a atividade de projeto. No entanto, as necessidades das partes interessadas podem ser muitas e variadas, podem ter conflito, podem não ser claramente definidas no início, pode ser condicionada por fatores externos ou pode ser influenciado por outros objetivos que se alteram com o passar do tempo. Sem uma base de requisitos relativamente estável, um projeto de desenvolvimento só pode "encalhar". É como partir para uma viagem marítima, sem qualquer ideia do destino e sem carta de navegação.

Requisitos permitem a gestão de riscos o mais cedo possível no desenvolvimento, permitem que o seu impacto seja avaliado e os efeitos de atenuação sejam adequados e eficazes em termos de custos.

Os princípios e práticas de engenharia de requisitos se aplicam a sistemas

completos. Um sistema é a coleção de componentes: máquina, software e humanos, que cooperam de forma organizada para conseguir algum resultado desejado - os requisitos. A solução completa envolve todo o sistema. Na verdade, a maioria dos requisitos é satisfeita pelas propriedades que emergem da forma como o sistema como um todo se comporta (HULL, JACKSON e DICK, 2004).

É interessante considerar a relação entre os requisitos e qualidade. Qualidade em software é estar em conformidade com as necessidades do usuário e antecipar e satisfazê-las.

Assim, as atividades de teste incluem revisões, inspeções, análise através da modelagem, além dos testes clássicos de componentes, subsistema e sistemas que são realizados.

A qualidade do software é mais bem descrita como uma combinação de vários fatores. O objetivo da engenharia de software é encontrar maneiras de construir softwares de qualidade. Ao invés de um único fator, a qualidade do software é mais visto como uma troca entre um conjunto de objetivos diferentes (MEYER, 1997).

Deseja-se que um sistema de software seja rápido, confiável, fácil de usar, de fácil leitura e assim por diante. De um lado, consideram-se qualidades como velocidade ou facilidade de uso, cuja presença ou ausência de um produto de software pode ser detectada pelos seus utilizadores (Fatores externos). Outras qualidades aplicáveis a um produto de software tais como ser modular, ou legível, são fatores internos, perceptíveis apenas para profissionais de informática que têm acesso ao texto de software real. Mas no final, apenas fatores externos importam.

Muitas vezes, por mais bem desenvolvidos que sejam os fatores externos e internos, o usuário final do produto precisa aprender a utilizar a ferramenta. Para Boog (2002), o treinamento é uma ferramenta que proporciona o aperfeiçoamento ou a inclusão de Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA). O /C/ significa conhecimento sobre um determinado assunto. Diz respeito à pessoa dominar um determinado saber a respeito de algo. É o saber. O /H/ significa habilidade para produzir resultados com o conhecimento que se possui. Diz respeito à pessoa conseguir fazer algum uso real do conhecimento que têm, produzindo algo efetivamente. É o saber fazer. O /A/ significa atitude assertiva e pró ativa - iniciativa.

3.6.2.1 Fatores Internos

A chave para alcançar os fatores externos da qualidade do software é que os internos garantam as qualidades ocultas. Os designers e implementadores devem ter aplicado técnicas internas, para os usuários desfrutar as qualidades visíveis.

Meyer (1997) cita alguns como:

- Corretude: é a capacidade dos produtos de software para executar suas tarefas exatas, tal como definido pela sua especificação.
- Robustez: é a capacidade dos sistemas de software para reagir adequadamente a condições anormais. Robustez complementa corretude, aborda o comportamento de um sistema em casos não abrangidos pela especificação.
- Extensibilidade: é a facilidade de adaptação de produtos de software para mudanças de especificação. É a capacidade que o sistema tem em crescer pela adição de novos componentes. Software deve ser suave, e de fato é, em princípio; nada pode ser mais fácil do que a alterar um programa se houver acesso ao seu código-fonte, cuja estrutura seja simples e descentralizada (mesmo para sistemas de grande porte).
- Reusabilidade: é a capacidade de elementos de software servir para a construção e reutilização de várias aplicações diferentes. A necessidade de reutilização vem da observação de que os sistemas de software, muitas vezes, seguem padrões semelhantes; deve ser possível explorar essa comunalidade e evitar reinventar soluções para os problemas que foram solucionados antes.
- Compatibilidade: é a facilidade de combinar elementos de software com os outros. A compatibilidade é importante para os softwares interagir uns com os outros. A falta de compatibilidade pode render desastre. As abordagens incluem: formatos de arquivo padronizados; interfaces padronizadas; protocolos de acesso padronizados.
- Eficiência: é a capacidade de um sistema de software sobressair o quanto possível sobre os recursos de hardware, tais como o tempo do processador, o espaço ocupado em memórias internas e externas, a largura de banda utilizada em dispositivos de comunicação. É difícil

porque requerem muitas exigências diferentes, algumas das quais, como correção, são abstratas e conceituais, enquanto outras, como a eficiência, são concretas e ligadas às propriedades de hardware de computador.

- Portabilidade: é a facilidade de transferência de produtos de software para vários ambientes de hardware e software.
- Facilidade de uso: é a facilidade com que pessoas de várias origens e qualificações podem aprender a utilizar produtos de software e aplicá-los para resolver problemas.
- Funcionalidade: é a extensão de possibilidades oferecidas pelo sistema.
- Pontualidade: é a capacidade de um sistema de software a ser lançado quando, ou antes, de seus usuários o quiser.

Outros fatores internos incluem:

- Manutencibilidade: é um aspecto da qualidade de software que se refere à facilidade, precisão, segurança e economia na execução de ações de manutenção, ou seja, refere à facilidade de um software de ser modificado a fim de corrigir defeitos, adequar-se a novos requisitos, aumentar a suportabilidade ou se adequar a um ambiente novo (BLANCHARD, 1992). Dentro deste fator incluem: Analisabilidade; Modificabilidade; Estabilidade e Testabilidade⁷⁵.
- Maturidade: Capacidade do produto de software de evitar falhas decorrentes de defeitos no software.
- Recuperabilidade: Capacidade do produto de software de restabelecer seu nível de desempenho especificado e recuperar os dados diretamente afetados no caso de uma falha.

3.6.2.2 Fatores Externos

A NBR ISO/IEC 9126-1:2003 define o modelo de qualidade em uso conforme os atributos de qualidade assim categorizados:

⁷⁵ NBR ISO/IEC 9126-1:2003

- Adequação: capacidade do produto de software de prover um conjunto apropriado de funções para tarefas e objetivos do usuário especificados.
- Acurácia: capacidade do produto de software de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados.
- Interoperabilidade: capacidade do produto de software de interagir com um ou mais sistemas especificados.
- Adaptabilidade: capacidade do produto de software de ser adaptado para diferentes ambientes especificados, sem necessidade de aplicação de outras ações ou meios além daqueles fornecidos para essa finalidade pelo software considerado.
- Inteligibilidade: capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário compreender se o software é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específicas. A inteligibilidade dependerá da documentação e das impressões iniciais oferecidas pelo software.
- Apreensibilidade: capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário aprender sua aplicação.
- Operacionalidade: capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo.
- Atratividade: capacidade do produto de software de ser atraente ao usuário.

Os fatores externos incluem o quanto um sistema se permite ser bem usado, e se apoia em seis aspectos principais (ROCHA e BARANAUSKAS 2003):

- Facilidade de aprendizado: o uso do sistema precisa ser fácil de aprender, para que o usuário possa começar logo a interação;
- Eficiência: tendo o usuário aprendido a usar o sistema, sua produtividade deve ser elevada;
- Memorização: o usuário não deve ter dificuldades em voltar a usar o sistema depois de um período de tempo sem usá-lo;
- Tolerância a Erros: o sistema deve favorecer que usuário não cometa

erros de eventos⁷⁶, acionando aquilo que não queira, ou causar tão poucos e tão pequenos erros quanto possível, e deve possibilitar fácil recuperação caso erros ocorram;

- Satisfação: o sistema deve ser agradável em seu uso, a ponto de o usuário sentir-se satisfeito ao interagir com ele.
- Acessibilidade: é um campo interdisciplinar, no qual os educadores, cientistas da computação, designers e demais pesquisadores, representam papéis importantes. A acessibilidade significa que qualquer pessoa possa ser capaz de interagir com qualquer conteúdo. O propósito deste campo de estudo é resolver os problemas de acesso à tecnologia por pessoas com necessidades especiais (SANTAROSA e UCHOA, 2003; DIAS, 2003).

O documento *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), normatizado pelo W3C⁷⁷), oferece uma série de recomendações e princípios gerais para acessibilidade. Apesar de focar-se a web, é possível considerar essas recomendações para aplicativos locais. Dentre as recomendações destacam-se:

1) Perceptível: Informação e componentes de interface de usuário devem ser perceptíveis aos usuários. Nesse princípio, devem-se prover mecanismos e recursos tais que os usuários, em suas diferentes capacidades perceptuais (como nas deficiências visual e auditiva), sejam capazes de perceber seu conteúdo.

- Criar conteúdo que pode ser apresentado de modos diferentes (por exemplo, um layout simplificado) sem perder informação ou estrutura.
- Tornar mais fácil aos usuários a visualização e audição de conteúdos incluindo as separações das camadas da frente e de fundo.

2) Operável: Componentes de interface no conteúdo devem ser operáveis pelos usuários. Deve garantir aos usuários (como nas deficiências motoras) não apenas o acesso, mas principalmente a interação com sistemas na web.

- Fazer com que todas as funcionalidades estejam disponíveis no teclado.
- Prover tempo suficiente para os usuários lerem e usarem o conteúdo.
- Não projetar conteúdo de uma forma conhecida por causar ataques

⁷⁶ Os eventos são propriedades das linguagens computacionais. Um simples *input* ou *output* pode ser um evento por exemplo. O programa decodifica o evento e executa a ação programada que o utilizador deseja que aconteça.

⁷⁷ (<http://www.w3.org/TR/WCAG10/>)

epiléticos.

- Prover formas de ajudar os usuários a navegar, localizar conteúdos e determinar onde se encontram.

3) Compreensível: Informação e operação da interface de usuário devem ser compreensíveis pelos usuários. Este princípio visa garantir aos usuários (como nas deficiências cognitivas e globais do desenvolvimento) não apenas o acesso e a interação, mas a inteligibilidade dos elementos de tal forma a possibilitar o uso.

- Tornar o conteúdo de texto legível e compreensível.
- Fazer com que as páginas da Web apareçam e funcionem de modo previsível.
- Ajudar os usuários a evitar e corrigir erros.

4) Robusto: O conteúdo deve ser “robusto” o suficiente para ser interpretado de maneira confiável por uma grande variedade de agentes de usuários, incluindo tecnologia assistiva. Visa, portanto, compatibilidade do conteúdo é necessária para possibilitar o acesso, a interação e o uso com múltiplos agentes de usuário e artefatos.

- Maximizar a compatibilidade entre os atuais e futuros agentes do usuário, incluindo as tecnologias assistivas.

Para Nielsen (2007) observar os padrões de acessibilidade expande as possibilidades de utilização das informações e reduz as incompatibilidades de equipamentos, gerando benefícios para todos os grupos de usuários, não somente para as pessoas com deficiência.

3.6.2.3 *Ergonomia*

Ergonomia é um conjunto de conhecimentos sobre o homem na execução de atividades com instrumentos, buscando uma melhor condição de desempenho nas tarefas sem prejudicar as condições das pessoas e, na medida do possível, agregando em qualidade de vida, tendo como importância da tríade básica: conforto, segurança e eficiência (LAVILLE, 1977).

Para Moraes e Soares (1989), e para Osborne (1982) a evolução tecnológica

ênfatiou a necessidade de conhecer os componentes humanos na iteração homem máquina (IHM). Para tanto, físicos, fisiologistas, médicos higienistas e psicólogos estudavam o funcionamento do organismo e saúde do trabalhador; engenheiros e organizadores do trabalho estudavam as atividades profissionais visando aumentar o rendimento humano no trabalho. Assim, oficializou-se o termo *Ergonomics* (*ergo*: trabalho, *nomics*: norma), sendo definida como a ciência da utiliza o das forças e capacidades humanas. São estudos dos meios pelos quais a rela o de trabalho pode ser adaptada para se obter o desempenho mais eficiente (OBORNE, 1982).

Conforme Moraes (1999) a ergonomia em sistemas informáticos iterativos deve prover ao usuário a usabilidade, isto significa a habilidade do software em permitir que o usuário alcance facilmente suas metas de intera o com o sistema. Assim, Moraes (1994) explica que   necessário que projetistas fundamentem-se na análise de tarefas realizadas pelos verdadeiros usuários para uma correta aplica o da Ergonomia de Software.

A ergonomia focada em conhecimentos para as questões psicofisiológicas permite conceber equipamentos, ou modificá-los, para adaptar-se a pessoa, e não o contrário. Ilda (2005) comenta que a ergonomia   o estudo da adapta o do trabalho ao ser humano, e de toda a situa o em que ocorre o relacionamento entre o ser humano e seu trabalho. E isso abrange o ambiente físico e os aspectos organizacionais de como   programado e controlado para produzir resultados desejados.

De acordo com Pheasant (1998), percebe-se que de forma geral a Ergonomia tem a pessoa como foco principal, e os demais elementos devem funcionar em rela o a mesma, jamais o inverso. Desta forma, o design de um software deverá preocupar-se com um design que se fundamente no conforto e eficiência para o usuário em suas necessidades e limita es. "O conceito de design   inerente ao processo de mudar as coisas para melhor" (PHEASANT, 1986, p.42).

Nesta visão, a ergonomia pode ser vista como a qualidade da adapta o de um dispositivo a seu usuário (CYBIS, BETIOL e FAUST, 2007). Assim, se pensarmos que também o conceito de usabilidade   quando os sujeitos empregam o sistema para alcançar seus objetivos em um determinado contexto de opera o, pode-se dizer que a ergonomia está na origem da usabilidade.

Pheasant (1998) considera que um design, fundamentado nos aspectos ergon micos,   centrado no usuário e faz um elo entre ele, a ferramenta (software) e

a tarefa (escrever). A garantia de sucesso desse elo depende de critérios como: eficiência funcional, facilidade de uso, conforto, saúde, segurança e qualidade de vida.

Segundo Santos e Fialho (1997), é preciso tirar vantagens das capacidades humanas, considerar as limitações e amplificar os resultados do sistema. É preciso ainda diminuir a necessidade de movimentos repetidos sem o tempo adequado de recuperação, pois são responsáveis por sinais e sintomas musculoesqueléticos, além de gerar alguns incômodos psíquicos, desta forma, fatores biomecânicos e psicossociais interagem na formação e na evolução de sinais e sintomas (SANTOS e FIALHO, 1997). Nesse sentido, a ergonomia é fundamental tanto para maximizar as capacidades da pessoa com deficiência, como também para evitar o agravamento da incapacidade ou deficiência existente e/ou o surgimento de novas (GUALBERTO FILHO, 2002).

3.6.3 Construção e Verificação

Para Rios (2008, p. 109) testar é "verificar se o software está fazendo o que deveria fazer, de acordo com seus requisitos, e se não está fazendo o que não deveria fazer". Esse processo de teste de software passou a ser executado em paralelo ao processo de desenvolvimento, em que "ganhou planejamento e organização sendo conduzido por técnicos treinados e qualificados".

Sendo assim, o teste de software se caracteriza como: atividade de encontrar erros e defeitos ainda não descobertos antes da fase de homologação; assegurar que os requisitos especificados na fase de requisitos de software foram realmente atendidos; certificar que as necessidades dos usuários poderão ser atendidas.

Para tal, alguns participantes fazem uso do programa em busca de verificar seu funcionamento. Estes fizeram o Teste de caixa-preta ou funcional. Essa técnica de teste não avalia a parte interna do sistema e sim a saída das informações do mesmo. Segundo Pressman (2007, p. 816) "os testes de caixa-preta procuram encobrir erros nas seguintes categorias: (1) funções incorretas ou ausentes; (2) erros de interface; (3) erros nas estruturas de dados ou acesso a banco de dados externos; (4) erros de desempenho; e (5) erros de inicialização e término".

Para Rios (2008, p. 31) os testes funcionais são executados "nas últimas etapas do processo da atividade. Para realizar esses testes, o sistema tem que estar codificado e logicamente desenvolvido".

A avaliação de uma interface pode ser feita durante diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento do software em que problemas de interação são identificados e consertados antes de a aplicação ser terminada e liberada para uso. As avaliações de interface feitas em produtos já terminados são chamadas de avaliações somativas. Normalmente, enquanto as avaliações formativas têm por objetivo melhorar a qualidade do sistema, tornando-o mais usável para o usuário, as somativas buscam verificar a existência de determinados aspectos no sistema desenvolvido como, por exemplo, a sua conformidade com um padrão estabelecido (HARTSON, 1998).

Por fim, realiza-se o Teste da Instalação do Software, que visa verificar a compatibilidade do sistema operacional com os procedimentos operacionais do software.

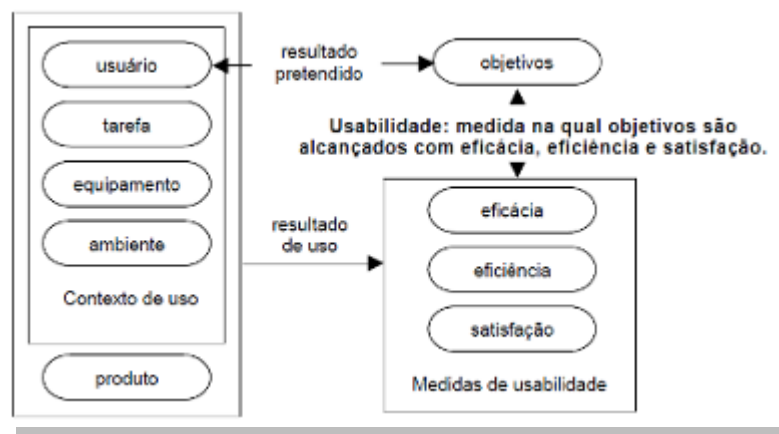
3.6.4 Qualidade de Software

Para Pressman (2007, p.724) qualidade em software é estar em conformidade com os requisitos do usuário e antecipar e satisfazer suas necessidades.

Para o início dos testes, segundo Rios (2008, p.11) há três dimensões de qualidade que precisam ser consideradas:

- **Confiança:** o sistema é resistente a falhas;
- **Funcionalidade:** suas funcionalidades seguem os requisitos;
- **Performance:** o sistema quando submetido a um volume de processamento próximo ao real, tem um tempo de resposta aceitável.

De modo a especificar ou medir a qualidade é necessário identificar os objetivos e decompor eficácia, eficiência e satisfação e os componentes do contexto de uso em subcomponentes com atributos mensuráveis e verificáveis. Os componentes e o relacionamento entre eles estão ilustrados na figura 35 (ISO 9241-11):

FIGURA 35: Qualidade de Software. Usabilidade

Fonte: ISO 9241-11, 2002.

Conforme a normativa ISO 9241-11 (2002), se o propósito é melhorar o sistema de trabalho como um todo, qualquer parte do sistema pode ser assunto de projeto ou avaliação. Medidas de eficácia, eficiência e satisfação podem ser usadas para avaliar qualquer componente do sistema de trabalho.

Se um sistema de trabalho for julgado insatisfatório, convém que sejam conduzidas análises sistemáticas da contribuição de diferentes componentes do contexto de uso. Convém que sejam consideradas as contribuições diretas e as interações entre os componentes do contexto de uso de modo a determinar a causa principal dos problemas. Esse processo pode também ser usado para identificar quais componentes são passíveis de mudança, de modo a trazer melhorias em todo o sistema de trabalho. A atividade de diagnóstico relacionada ao contexto de uso é frequentemente necessária para determinar se os problemas estão relacionados ao produto ou a outros componentes do sistema de trabalho (ISO 9241-11, p.8, 2002).

A NBR ISO/IEC 9126-1:2003 define o modelo de qualidade em uso conforme os atributos de qualidade assim categorizados:

TABELA 7: Atributos de qualidade em uso

FUNCIONALIDADE: Capacidade do produto de software de prover funções que atendam às necessidades explícitas e implícitas, quando o software estiver sendo utilizado sob condições especificadas. Esta característica está relacionada com o que software faz para atender às necessidades.	
Adequação:	Capacidade do produto de software de prover um conjunto apropriado de funções para tarefas e objetivos do usuário especificados.
Acurácia:	Capacidade do produto de software de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados.
Interoperabilidade:	Capacidade do produto de software de interagir com um ou mais sistemas especificados.

Segurança de acesso:	Capacidade do produto de software de proteger informações e dados, de forma que pessoas ou sistemas não autorizados não possam lê-los nem modificá-los e que não seja negado o acesso às pessoas ou sistemas autorizados.
CONFIABILIDADE: Capacidade do produto de software de manter um nível de desempenho especificado, quando usado em condições especificadas.	
Maturidade:	Capacidade do produto de software de evitar falhas decorrentes de defeitos no software.
Tolerância a falhas:	Capacidade do produto de software de manter um nível de desempenho especificado em casos de defeitos no software ou de violação de sua interface especificada. NOTA - O nível de desempenho especificado pode incluir a capacidade de prevenção a falhas.
Recuperabilidade:	Capacidade do produto de software de restabelecer seu nível de desempenho especificado e recuperar os dados diretamente afetados no caso de uma falha.
USABILIDADE: Capacidade do produto de software de ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário, quando usado sob condições especificadas.	
Inteligibilidade:	Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário compreender se o software é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específicas. NOTA - A inteligibilidade dependerá da documentação e das impressões iniciais oferecidas pelo software.
Apreensibilidade:	Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário aprender sua aplicação.
Operacionalidade:	Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo.
Atratividade:	Capacidade do produto de software de ser atraente ao usuário. NOTA - Isto refere-se a atributos de software que possuem a intenção de tornar o software mais atraente para o usuário, como o uso de cores e da natureza do projeto gráfico.
EFICIÊNCIA: Capacidade do produto de software de apresentar desempenho apropriado, relativo à quantidade de recursos usados, sob condições especificadas.	
Comportamento em relação ao tempo:	Capacidade do produto de software de fornecer tempos de resposta e de processamento, além de taxas de transferência, apropriados, quando o software executa suas funções, sob condições estabelecidas.
Utilização de recursos:	Capacidade do produto de software de usar tipos e quantidades apropriados de recursos, quando o software executa suas funções sob condições estabelecidas.
MANUTENCIBILIDADE: Capacidade do produto de software de ser modificado. As modificações podem incluir correções, melhorias ou adaptações do software devido a mudanças no ambiente e nos seus requisitos ou especificações funcionais.	
Analisabilidade:	Capacidade do produto de software de permitir o diagnóstico de deficiências ou causas de falhas no software, ou a identificação de partes a serem modificadas.

Modificabilidade:	Capacidade do produto de software de permitir que uma modificação especificada seja implementada.
Estabilidade:	Capacidade do produto de software de evitar efeitos inesperados decorrentes de modificações no software.
Testabilidade:	Capacidade do produto de software de permitir que o software, quando modificado, seja validado.
PORTABILIDADE: Capacidade do produto de software de ser transferido de um ambiente para outro.	
Adaptabilidade:	Capacidade do produto de software de ser adaptado para diferentes ambientes especificados, sem necessidade de aplicação de outras ações ou meios além daqueles fornecidos para essa finalidade pelo software considerado.
Capacidade para ser instalado:	Capacidade do produto de software para ser instalado em um ambiente especificado. NOTA - Se o software for instalável pelo usuário final, a capacidade para ser instalado afeta a adequação e a operacionalidade.
Coexistência:	Capacidade do produto de software de coexistir com outros produtos de software independentes, em um ambiente comum, compartilhando recursos comuns.
Capacidade para substituir:	Capacidade do produto de software de ser usado em substituição a outro produto de software especificado, com o mesmo propósito e no mesmo ambiente.

Fonte: NBR ISO/IEC 9126-1:2003

De acordo com a NBR ISO/IEC 9126-1:2003, normalmente é necessário fornecer pelo menos uma medida para os atributos de qualidade em uso. Visto que a importância relativa dos componentes de usabilidade depende do contexto de uso e das propostas para as quais a usabilidade está sendo descrita, e dos objetivos das partes envolvidas na medição, convém que não haja regra geral de como as medidas sejam escolhidas ou combinadas. Se não for possível obter medidas objetivas de eficácia e eficiência, medidas subjetivas baseadas na percepção dos usuários podem fornecer uma indicação de eficácia e eficiência.

4 PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO E OBJETIVOS - *Questiono, e ressignifico que existo*

4.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave?

4.2 OBJETIVO GERAL

Investigar como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Na busca de atender ao objetivo geral, esta investigação buscou alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Descrever requisitos de software básicos para qualidade em uso da ICC;
- Desenvolver uma Interface Cérebro Computador junto à PCD e ampliar as alternativas de Tecnologia Assistiva;
- Descrever a aprendizagem cognitiva para o controle de frequência das ondas cerebrais durante o processo de treino e uso;
- Observar, analisar e descrever o processo de interação da PCD com uma Interface Cérebro Computador, na dimensão da escrita;
- Promover a comunicação de forma alternativa do usuário com seu ambiente social;
- Avaliar a potencialidade da Interface na dimensão de favorecer o processo de escrita de PCD, com vistas à sua interação social;
- Apresentar contribuições para o desenvolvimento de uma sociedade mais inclusiva.

Para que os objetivos deste estudo fossem alcançados, adotaram-se para cada objetivo os procedimentos descritos a seguir:

TABELA 8: Objetivos deste estudo

Objetivo Geral: Investigar como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave.	
Objetivos Específicos	Ações para contemplar os objetivos
Descrever requisitos de software básicos para qualidade em uso da ICC	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisar as necessidades, indicações e pretensões de ICC em outros estudos publicados.
Desenvolver uma Interface Cérebro Computador junto à PCD e ampliar as alternativas de Tecnologia Assistiva	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver uma ICC para o processo da escrita, com base no panorama tecnológico de dispositivos de captura de ondas cerebrais e de recursos computacionais disponíveis, transformando-a como recurso de TA..
Descrever a aprendizagem cognitiva para o controle de frequência das ondas cerebrais durante o processo de treino e uso	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar os gráficos de ondas cerebrais captados com a identificação dos recursos cognitivos despendidos pelos sujeitos.
Observar, analisar e descrever o processo de interação da PCD com uma Interface Cérebro Computador, na dimensão da escrita	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a tecnologia da Interface desenvolvida junto a PCD, através de diferenciados estudos de caso; • Analisar, com base nos dados coletados, os aspectos que emergem da interação de sujeitos com deficiência motora com a Interface projetada, buscando descrever resposta para o problema de pesquisa.
Promover a comunicação de forma alternativa do usuário com seu ambiente social	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver a ação mediadora dessa ferramenta na comunicação da PCD com as pessoas que a rodeiam.
Avaliar a potencialidade da Interface na dimensão de favorecer o processo de escrita de PCD, com vistas à sua interação social	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar a utilidade da TA construída com as expectativas do usuário e família no processo de escrita.
Apresentar contribuições para o desenvolvimento de uma sociedade mais inclusiva	<ul style="list-style-type: none"> • Trazer para discussão os sistemas que podem dar suporte a este tipo de sujeito na comunicação e no auxílio em se manter intelectualmente ativo

Fonte: Próprio autor.

5 MÉTODO DA PESQUISA - *Busco, enquanto existo*

Neste capítulo descreve-se o desenvolvimento desta pesquisa. Apresenta-se a caracterização e tipo do estudo, os participantes e os passos do desenvolvimento da ICC. Descrevem-se ainda os procedimentos da pesquisa para o plano de coleta e de análise de dados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO E TIPO DO ESTUDO

Para compreender os objetivos propostos do presente estudo, optou-se por uma abordagem de *Pesquisa Qualitativa* por ser a metodologia mais adequada ao aprofundamento e obtenção dos dados necessários que o assunto exige.

Nesta abordagem considera-se que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Tal pesquisa é descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem (PRODANOV e FREITAS, 2013 p.70).

Quanto à natureza de pesquisa: utilizou-se a *Pesquisa Aplicada* que, conforme Prodanov e Freitas (2013), objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos. Gera produtos e/ou processos com finalidades imediatas. Assim, ao mesmo tempo em que se buscou resposta a uma questão, a partir de conhecimentos já adquiridos no campo científico existente, também se propôs oferecer uma ferramenta tecnológica que favorecesse pessoas com impedimentos motores a superar seus limites funcionais de escrita. Por isso, conforme Laville e Dionne (1999), trata-se de um tipo de pesquisa destinada a resolver problemas concretos.

Quanto aos objetivos, este estudo combinou a pesquisa exploratória e explicativa (PRODANOV e FREITAS, 2013).

a) A *Pesquisa Exploratória* assume, em geral, levantamento bibliográfico, experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Tratou-se do momento de levantar os requisitos de softwares indicados em outros estudos (artigos científicos). Assim, conforme

descreve Andrade (2001, p. 45), a pesquisa com amostragem bibliográfica:

[...] explica um problema a partir de referenciais teóricos publicados em documentos. Pode ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. Ambos os casos buscam conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado existentes sobre um determinado assunto, tema ou problema.

Na amostragem dos artigos, tratando-se de levantamentos iniciais, não houve fechamento da amostra por exaustão no levantamento do estado da arte. Assim, portanto, a amostra foi do tipo não-probabilística. Segundo Babbie (1999), utiliza-se amostragem não-probabilística em situações em que a amostragem probabilística seria dispendiosa demais e/ou quando a representatividade exata ainda não é necessária. Nas amostras não-probabilísticas (intencionais), tal definição é feita a partir da experiência do pesquisador no campo de pesquisa, numa empiria pautada em raciocínios instruídos por conhecimentos teóricos da relação entre o objeto de estudo e o *corpus* a ser estudado

b) As *Pesquisas Explicativas* são mais complexas, pois além de registrar, analisar, classificar e interpretar os fenômenos estudados tem como preocupação central identificar seus fatores determinantes. Tratou-se da fase de investigar como se desenvolve a interação entre uma Interface Cérebro Computador e sujeitos com incapacidade motora grave.

Quanto aos procedimentos, foi realizado *Estudo de Caso*. O estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida. A vantagem mais marcante desta estratégia ser estudo de caso repousou na possibilidade de aprofundar e retratar a multiplicidade de ações dos sujeitos da pesquisa frente ao uso da Interface cérebro computador. O objetivo desse tipo de pesquisa não é apenas ver ou descrever, mas sim compreender (LAVILLE e DIONNE, 1999).

Dentro dos procedimentos técnicos da investigação desse estudo de caso, houve três momentos distintos, com os seguintes métodos combinados: Experimental, Observacional e Pesquisa-ação.

a) Primeiro momento (Experimental): aprendizagem do controle da frequência das ondas cerebrais. Os sujeitos utilizaram o dispositivo *Muse™ Interaxon* para captar as frequências das ondas cerebrais, que foram visualizadas em tela de computador. Com estímulos verbais e técnicas de concentração e

relaxamento, os sujeitos visualizaram as mudanças de frequência das ondas e aprenderam sua regulação. O método experimental consiste, especialmente, em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto.

b) Segundo momento (observacional): com a aprendizagem do controle da frequência das ondas cerebrais, os sujeitos interagiram com o computador, na dimensão da escrita. Nesta etapa, o pesquisador observou a ação mediadora dessa ferramenta. O método observacional é utilizado a fim de observar algo que acontece ou já aconteceu (GIL, 2002, *apud* PRODANOV e FREITAS, 2013).

Cabe salientar que nesta fase, os procedimentos técnicos da investigação também se tornaram auto-observacional⁷⁸, ou seja, o sujeito que pesquisa e sujeito pesquisado tornam-se a mesma pessoa, sendo um dos participantes deste estudo de caso.

Todavia, a ciência moderna, positivista, tem como base a razão, a qual é utilizada para conhecer a realidade e, sua lógica, é centrada na ideia de demonstração e prova. Tornou-se a forma mais usada para definir ou construir o objeto e de manter o controle do pensamento durante a investigação. Um de seus fundamentos é a “distinção entre sujeito e objeto do conhecimento, que permite estabelecer a ideia de objetividade, isto é, de independência dos fenômenos em relação ao sujeito que conhece (CHAUÍ, 2012, p. 292). Somente era considerado racional, válido e científico, o conhecimento produzido pelos princípios epistemológicos e regras metodológicas ditadas pelo paradigma da simplificação (SANTOS, 2010).

O conhecimento científico produzido, nesse movimento obsessivo de simplificação, “tinha a missão de desvelar a simplicidade escondida por trás da aparente multiplicidade e da aparente desordem dos fenômenos” (MORIN, 2007, p. 59). Apesar de a ciência clássica (moderna) eliminar o observador da observação, a microfísica, a teoria da informação e a teoria dos sistemas reintroduzem o sujeito que conhece em seu processo de conhecimento, ou seja, reintroduzem o observador na observação. Boaventura de Souza Santos (2010) indicou que o paradigma dominante dessa ciência se apresenta em crise e aponta que essas

⁷⁸ Talvez uma quebra de protocolo epistemo-metodológica necessária à luz da complexidade e da transdisciplinaridade do tema e do pesquisador.

mudanças das ciências também evidenciam uma distinção entre sujeito-objeto mais complexa do que pode parecer à primeira vista. Neste caso, essa relação “perde os seus contornos dicotômicos e assume a forma de um *continuum*” (SANTOS, 2010, p.45).

[...] a partir da mudança de visão sobre a relação sujeito-objeto, antes, totalmente desvinculados e separados, deu-se também a transformação gradativa dos pressupostos da ciência moderna. Tais mudanças de visão passaram a constituir uma relação de integração, interdependência e inseparabilidade entre sujeito e objeto. Esta relação se dá com base na Complexidade e na Transdisciplinaridade, perspectivas que seguiram abrindo caminho para o desenvolvimento do Pensamento complexo na pesquisa e na formação. Esse pensamento possui, como um de seus princípios, a reintrodução do sujeito cognoscente em todo processo que envolve construção de conhecimento (SCHERRE, 2015 p.267).

Morin (2007) destaca que, a partir do princípio da Complexidade, o conhecimento é de fato produzido na relação do sujeito com o objeto, e que o objeto só existe em relação com o sujeito que o observa, isola, define e pensa. Dessa forma, o sujeito que pesquisa e o objeto que é pesquisado, são inseparáveis, ambos constitutivos um do outro. Para tanto, propõe a concepção aberta da relação sujeito-objeto, visto que ela “nos indica que o objeto deve ser concebido em seu ecossistema e mais amplamente num mundo aberto (que o conhecimento não pode preencher) e num metassistema, uma teoria a elaborar onde sujeito e objeto podem integrar-se um ao outro” (MORIN, 2007, p. 47-48).

[...] ratifica a compreensão de que todo pesquisador está enredado em suas metanarrativas, o que de certa forma ratifica também a importância de se levarem em conta os processos de auto-referência, as histórias de vida colocadas a serviço dos processos de construção do conhecimento nas pesquisas. Tais processos estão na gênese da pesquisa, no olhar do pesquisador, influenciando a escolha do problema a ser pesquisado e decisões importantes. (MORAES; VALENTE, 2008, p.44).

c) Terceiro momento (pesquisa-ação): como um dos objetivos específicos almeja desenvolver uma Interface Cérebro Computador junto à PCD, isto é, com ela e para ela, os procedimentos específicos talvez possam se caracterizar como Pesquisa-ação, também chamada de Pesquisa Participante. “Por um lado investiga, produz conhecimento sobre a realidade a ser estudada e, por outro, realiza um processo educativo para o enfrentamento dessa mesma realidade” (TOZONI-REIS, 2009 p.31). Ou seja, o pesquisador e os participantes representativos da situação ou do problema estarão envolvidos de modo cooperativo ou participativo na sua construção, conforme as necessidades individuais.

Como o sujeito fez ensaios e treinos, em um processo educativo do controle

de envio dos sinais cerebrais,

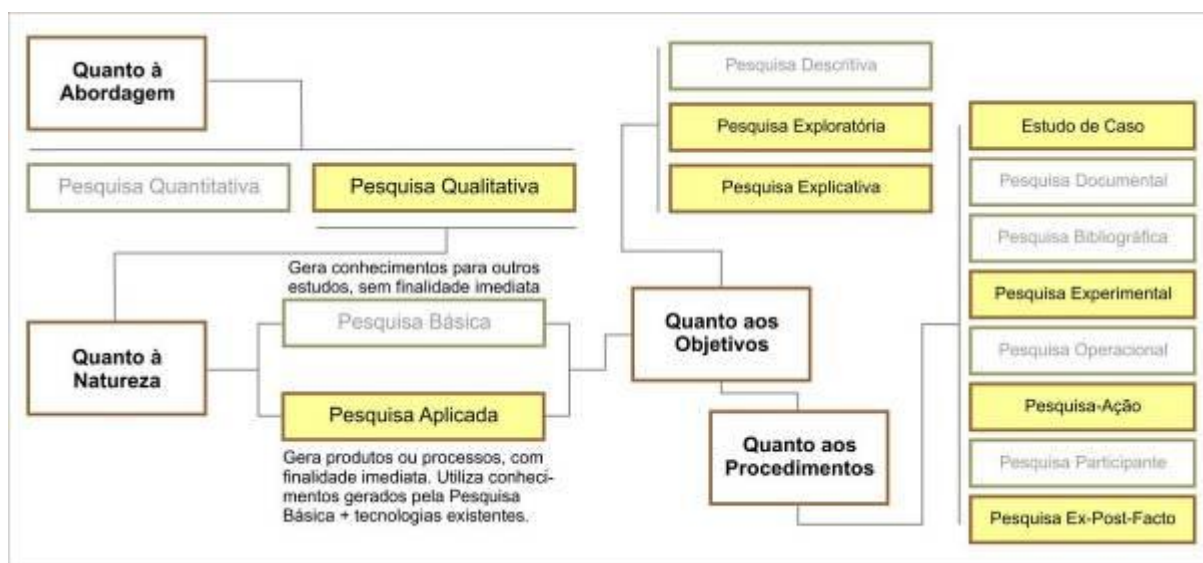
aqui os sujeitos deixam de ser objetos de estudo para serem pesquisadores, produtores de conhecimentos sobre sua própria realidade. O sujeito vive a realidade socioambiental em estudo é, portanto, um sujeito-parceiro das investigações definidas participativamente [...] Também compartilham conhecimentos que trazem de suas diferentes experiências sócio-históricas, com o objetivo de promover, pela ação-reflexão-ação, transformações na realidade socioambiental que investigam (TOZONI-REIS, 2009 p.31-32).

A pesquisa-ação acontece quando há interesse coletivo na resolução de um problema ou suprimento de uma necessidade. Conforme Tripp (2005), na pesquisa-ação planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para a melhora de sua prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação. A solução de problemas, por exemplo, começa com a identificação do problema, o planejamento de uma solução, sua implementação, seu monitoramento e a avaliação de sua eficácia.

Analogamente, o tratamento médico também segue o ciclo: monitoramento de sintomas, diagnóstico da doença, prescrição do remédio, tratamento, monitoramento e avaliação dos resultados. A maioria dos processos de desenvolvimento também segue o mesmo ciclo, seja ele pessoal ou profissional ou de um produto tal como uma ratoeira melhor, um currículo ou uma política. É evidente, porém, que aplicações e desenvolvimentos diferentes do ciclo básico da investigação-ação exigirão ações diferentes em cada fase e começarão em diferentes lugares (TRIPP, 2005 p.446).

Dessa forma, entender as necessidades, as indicações, pretensões e expectativas da PCD frente a essa Tecnologia Assistiva, puderam colaborar de forma intervencionista nos requisitos do sistema e nas adequações necessárias.

FIGURA 36 Design da Pesquisa



Fonte: Próprio autor.

5.2 GRUPO DE SUJEITOS: CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES

Houve dificuldades do pesquisador em localizar pessoas com deficiência física portadoras⁷⁹ de dificuldades motoras para escrever, que estivessem alfabetizadas e que, do aspecto disfuncional, fossem sujeitos cuja etiologia da disfunção não decorresse de lesão do córtex frontal e da área de Wernicke. A procura se deu numa rede municipal de ensino da grande Porto Alegre e em um hospital municipal, mas as pessoas localizadas com tais características não eram alfabetizadas ou não havia liberação para a pesquisa devido ao estado de saúde crítico do sujeito. Então, utilizou-se das relações pessoais e noticiários⁸⁰ para divulgação da pesquisa e escolha dos participantes.

Os participantes da pesquisa foram três pessoas alfabetizadas, do sexo masculino, com diferentes graus de capacidade de comunicação: a) um que possui capacidade plenas de escrita e fala, mas que sua participação traz reflexões sobre a ICC sem a interferência de deficiência física; b) outro que possui "grande dificuldade" para escrever sem ajuda técnica, devido a dificuldades motoras (sendo este o próprio pesquisador); c) outro que "não consegue de forma alguma"⁸¹ se comunicar, nem por fala nem por escrita, mesmo com ajudas técnicas convencionais de comunicação alternativa, devido ao estado de Síndrome do Encarceramento.

Embora não tenha sido foco de estudo, mas sim colaborador, cita-se o participante William Santos Pedroso⁸², programador do MuseKey, disponibilizado pelo Núcleo de Informática na Educação Especial (NIEE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A presença deste foi essencial, visto que o pesquisador possui familiaridade apenas com a linguagem de programação *Visual Basic*, mas para o desenvolvimento do sistema era necessária à utilização da linguagem Java, pela compatibilidade com os recursos do fabricante do dispositivo

⁷⁹ Portadora: que possui, que carrega. Uma deficiência física pode ser permanente, mas uma dificuldade ou limitação em uma ação pode ser temporária se superada por ajudas técnicas.

⁸⁰ Principalmente em G1, com o auxílio do jornalista Igor Grossmann, disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2016/12/pensando-no-futuro-diz-criador-de-teclado-comandado-por-cerebro.html>>


⁸¹ "grande dificuldade" e "não consegue de forma alguma" são conceitos para caracterizar graus de severidade na capacidade de pessoas com deficiência, compatível com a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF), divulgada em 2001 pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

⁸² Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Luterana do Brasil (2014). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Software e Hardware. (<http://lattes.cnpq.br/8918273114719250>).

Muse™ Interaxon.

Para preservar a identidade de dois dos quatro sujeitos do estudo, caracterizados a seguir, deu-lhes personagens e nomes fictícios⁸³:

QUADRO 3: Sujeitos da Pesquisa



D'Artagnan	Porthos	Aramis	Athos
O Programador da ICC	SUJEITO 1 17 anos	SUJEITO 2 41 anos	SUJEITO 3 55 anos
	Sem Dificuldade	Grande dificuldade Amiotrofia Muscular	Não consegue Síndrome do Encarceramento

Fonte: Próprio autor.

5.2.1 Sujeito 1: Porthos

Porthos é um jovem de 17 anos que, dentre outras pessoas, realizou testes com o dispositivo Muse™ Interaxon e a ICC desenvolvida nesta pesquisa, denominada MuseKey. Apesar de não possuir deficiência, a inserção de Porthos como participante da pesquisa se deu pela relevância da particularidade da interação com a interface, que trouxe contribuições para análise do dispositivo e que será descrita na apresentação dos dados.

A mãe de Porthos possui Esclerose Amiotrófica e depende de equipamentos eletromédicos para mantê-la viva. Atualmente ela só move os olhos. Em razão dela, Athos e seu pai realizaram pesquisas na Internet a procura de recursos de Tecnologia Assistiva para comunicação, pois a progressão da doença está conduzindo-a ao estado de Síndrome do Encarceramento. Na Internet encontraram

⁸³ A escolha dos nomes fictícios foi inspirada no romance histórico "**Os Três Mosqueteiros**", escrito pelo francês Alexandre Dumas. Inicialmente publicado como folhetim no jornal Le Siècle de março a julho de 1844. Esse romance transcende amplamente os limites da literatura. De acordo com André Roussin, dirigindo-se aos membros da Academia Francesa em 1980: "É o mito da amizade entre os homens que, sob o duplo selo da lealdade e da coragem, tornam-se invencíveis". Os Três Mosqueteiros trouxeram o sentido sagrado da fraternidade através do lema: "Um por todos! Todos por um!"

informações e notícias do desenvolvimento desta tese de doutorado. Então entraram em contato com o pesquisador com o intuito de conhecerem o estudo. Athos reside com sua família em Minas Gerais e veio ao Rio Grande do Sul, com seu pai, especialmente para conhecer a ICC. Sua mãe não participou, pois sua situação a impossibilita de viajar.

Durante duas tardes houve demonstração e testes com o dispositivo.

5.2.2 Sujeito 2: Aramis

Aramis é o autor-pesquisador-sujeito desta Tese. Como já descrito na *Apresentação* deste relatório, possui Amiotrofia Espinhal Muscular (Werdnig-Hoffmann). Sua capacidade motora limita-se aos poucos movimentos das mãos, e depende de auxílio para todos os atos comuns da vida diária. Para escrever faz uso do teclado virtual Mousekey, utilizando um minimouse. Sua fala é fraca e faz uso de ventilação mecânica não-invasiva durante períodos intercalados do dia e contínuo à noite.

A descrição do uso da ICC será do período em que ficou hospitalizado, fazendo uso de ventilação mecânica invasiva, via traqueostomia, impedindo sua fala.

5.2.3 Sujeito 3: Athos

Arthos exercia uma função política na Assembleia Legislativa do Rio Grande do Sul e, algumas vezes, acompanhava a trajetória do pesquisador. No entanto, no segundo semestre de 2017, Athos teve um Acidente Vascular Cerebral (AVC), deixando-o em estado considerado vegetativo.

Após alguns meses hospitalizado, passou a ser atendido em casa, com apoio domiciliário (*Home Care*⁸⁴). Para respirar, Athos possui traqueostomia e ventilação mecânica através de um equipamento eletromédico. Já sua alimentação é dada por sonda. Não possui movimentos do corpo, com exceção do globo ocular

⁸⁴ Home Care, é uma especialização na área da saúde com uma visão diferente da hospitalocêntrica: ao invés de o paciente ir até o hospital ser tratado, os profissionais de saúde vão até sua casa tratá-lo.

que, para algumas pessoas, parece involuntário. Para se comunicar, a família e terapeutas têm experimentado diferentes recursos de comunicação alternativa, como quadro de letras e prancha de comunicação, mas sem resultados até o momento da pesquisa. Sua esposa diz entendê-lo pelo olhar.

Houve solicitação da família para que se realizassem tentativas de comunicação com a ICC. Realizaram-se alguns testes, no entanto, as constantes impossibilidades de encontros com o sujeito e o limite de tempo para a pesquisa não permitiram desenvolver o término da aplicabilidade. Mas, mesmo assim, optou-se em manter Athos na descrição como participante, visto que dados coletados contribuem nas reflexões da pesquisa.

5.3 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Para coleta de dados, seguiram-se os seguintes procedimentos:

1) levantamento bibliográfico sobre caminhos e requisitos de softwares indicados em outros estudos. Para isso, foi realizada revisão nas bases de dados da ACM Computing Surveys, Capes, SABI, Medline, Lilacs e Scielo. A busca de artigos foi realizada em dois idiomas: inglês e português. Foram utilizadas como palavras-chave: *brain-computer interface*, *BCI*, *Interface cérebro-computador*, *ICC*, *Tecnologia Assistiva*, *Assistive technology*, *ondas cerebrais*, *brainwave*, e *reabilitação*, *rehabilitation*.

Os critérios de seleção do artigo nessa coleta de dados foram estudos experimentais e aplicados que abordassem: a) os conceitos e princípios básicos sobre interface cérebro computador em humanos; b) com discussões sobre requisitos de software; c) suas aplicações em pacientes severamente limitados; e d) as perspectivas da técnica de ICC não invasivas nos próximos anos. Dos resultados selecionaram-se estudos que referiram os termos: engenharia de software, requerimentos, qualidade em uso.

2) Pesquisa de dispositivos de ICC portáteis existentes no mercado.

3) Seleção do dispositivo de ICC que foi utilizado neste estudo, com base nos resultados do levantamento bibliográfico e nas características das ICC apresentadas.

4) Desenvolvimento do sistema de ICC (MuseKey) para o dispositivo

escolhido (Muse™) com a finalidade de digitação alfanumérica.

5) Escolha dos sujeitos e experimentos da ICC com os sujeitos da pesquisa:

Foram explicados os objetivos da pesquisa e a implicação ética envolvida, em que os participantes, ou sua família, concordaram com o termo de consentimento informado para o estudo⁸⁵ (Anexo I).

Para utilização do MuseKey (Interface Cérebro Computador), foram realizados encontros com cada sujeito, individualmente. No primeiro encontro, realizou-se entrevista semiestruturada (Anexo II), buscando como conversa informações sobre o uso de recursos pelo sujeito e sobre expectativas da tecnologia proposta. Em seguida, cada participante recebeu orientações sobre o dispositivo de captação eletroencefalográfica, no caso o dispositivo Muse™ Interaxon. De posse disso, o sujeito fez ensaios e treinos do controle de envio dos sinais cerebrais. Então foi solicitada uma produção escrita, podendo ser uma palavra, frase ou parágrafo.

QUADRO 4: Roteiro de atividades com participantes da pesquisa

Primeira etapa			Segunda etapa	
Entrevista semiestruturada	Apresentação da ferramenta	Ambientação com o aplicativo	Digitação de um texto livre	Verificação de ergonomia e usabilidade: percepção do participante

Fonte: Próprio autor.

Ao serem percebidos pontos frágeis para utilização do participante com completa autonomia, o programador fez ajustes no aplicativo, para que essa tecnologia assistiva fosse o mais eficiente possível frente às necessidades do sujeito.

Para avaliar a potencialidade da interface cérebro computador na dimensão de favorecer o processo de escrita de PCD elencaram-se os seguintes indicadores:

TABELA 9: Indicadores da potencialidade da ICC MuseKey

INDICADORES	EVIDÊNCIA DE AVALIAÇÃO
Versatilidade do sistema em relação à adaptação a vários utilizadores diferentes e Interface adaptativa baseada no estado cognitivo do sujeito;	ICC com capacidade de: uso de diferentes teclados virtuais; de ajuste de tempo de rastreamento do teclado do MuseKey; de escolha do canal de ondas/sinais cerebrais; de intensidade do sinal; do distanciamento de épocas (epochs/delay)

⁸⁵ cf Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos (Resolução CNS 196/96).

Comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo com melhor acurácia e menor tempo de treinamento;	Comunicação direta entre dispositivo de EEG com computador sem necessidade de outros periféricos; fácil conectividade; tempo de aprendizagem para emissão do sinal cerebral e acerto no rastreo de teclas
Considerar interferências externas e melhor conforto dos eletrodos;	Eficiência na escrita mesmo com estímulos secundários no ambiente; baixa taxa de erros; ausência ou pouca queixa de desconforto de uso do dispositivo de EEG
Finalidade da TA compatível com a expectativa do sujeito/família	Comparar a utilidade da TA construída com as expectativas do usuário e família no processo de escrita.

Fonte: Próprio autor.

A Tabela a seguir resume os procedimentos da pesquisa:

TABELA 10: Procedimentos Da Pesquisa

Primeira etapa			Segunda etapa	
Levantamento bibliográfico sobre requisitos de ICC	Pesquisa de dispositivos de ICC portáteis	Seleção do dispositivo de ICC	Desenvolvimento do sistema de ICC (MuseKey)	Experimentos da ICC com os sujeitos da pesquisa

Fonte: Próprio autor.

Nesse procedimento, para coletar informações e registros necessários para posterior análise, utilizaram-se os instrumentos descritos a seguir.

5.3.1 Instrumentos para Coleta de Dados

Para viabilizar uma análise cuidadosa e verificar a aplicabilidade tecnológica, os instrumentos para coleta de dados foram por meio de:

- a) entrevista semidirigida (Anexo II);
- b) observação direta e participante;
- c) instrumentos de registros múltiplos em vídeos (captura de tela, de face e de contexto).

A entrevista semidirigida, aplicada ao início da etapa de experimentos da ICC, permitiu conhecer o usuário frente seu histórico relacionado ao ato de escrever ou se comunicar, conhecendo suas necessidades de estratégias de superação, com êxito ou não. Permitiu saber quais os recursos que não deram certos e quais as aspirações ou anseios dos sujeitos frente à ação de escrever por sinais cerebrais.

A observação direta e participante permitiu verificar como o sujeito utiliza o computador, seu cansaço ou desgaste físico, as expressões faciais que inferem

dúvidas, satisfações, indecisões, curiosidades e outras sensopercepções. Esse método foi pertinente, pois nem sempre usuários percebem ou conseguem expressar a sua experiência de uso com o aplicativo, e a observação permitiu ao avaliador ter inferências dos aspectos que estavam sendo vivenciados.

5.3.2 Procedimento de Análise de Dados

Ao coletar os dados qualitativos através dos instrumentos e procedimentos já descritos, iniciou-se a avaliação dos estudos anteriores, da competência operacional do usuário (usabilidade) e a avaliação da funcionalidade da ferramenta, objetivando assim identificar pontos que emergem na interação dos sujeitos com deficiência motora e a tecnologia projetada.

Para análise dos dados seguiu-se a orientação de Bardin (2009), denominado de Análise de Conteúdo, que consiste em encontrar pontos de coincidências tanto nos artigos revisados como nas verbalizações dos sujeitos, que ajudassem a reinterpretá-las e a atingir uma compreensão aprofundada de seus significados. A partir disso, se possibilitou a formulação de categorias que são discutidas com a apresentação dos dados e com a literatura existente.

Pela classificação de itens de sentido levantaram-se duas categorias: 1) avaliação operacional do usuário; 2) avaliação funcional da ferramenta. Cada uma destas categorias foi dividida em subcategorias.

6 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E RESULTADOS - *Emito, e comprovo que existo*

Este capítulo inicia apresentando caminhos já trilhados e descritos em estudos experimentais e aplicados que, junto com a revisão da literatura, trouxeram dados que influenciaram na seleção do dispositivo de ICC utilizado neste estudo. Em seguida apresenta o desenvolvimento do protótipo (a ICC MuseKey) e dados referentes à operacionalidade do usuário e à funcionalidade da ferramenta. A partir disso, descrevem-se resultados da avaliação operacional do usuário e funcional da ferramenta, isto é, da interação entre interface cérebro computador e sujeitos da pesquisa.

6.1 DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS E APLICADOS

Os estudos, por amostra, demonstraram que existem as seguintes pesquisas de aplicações de Interface Cérebro Computador:

TABELA 11: Aplicações da ICC

Tipo de Aplicações
Restauração de funções motoras através da robótica
Controle do ambiente ou equipamentos
Novo canal de comunicação alternativa
Monitorar e ou analisar "estados mentais"
Performance das funções de cognição
Jogos computacionais
Mapeamento cerebral

Fonte: Próprio Autor

Dessas aplicações seguiu-se a delimitação das pesquisas que descrevem a ICC como novo canal de comunicação alternativa.

Coletados os dados que descrevessem conceitos e requisitos de software básicos para qualidade em uso da ICC, realizou-se *Análise de Conteúdo*, tornando possível a categorização, descrição e interpretação como etapas essenciais desta metodologia.

Pela classificação levantaram-se quatro categorias de descrições e requisitos: 1) Quanto ao usuário final; 2) Quanto ao processo de desenvolvimento; 3)

Quanto aos fatores internos da qualidade do software; e 4) Quanto aos fatores externos da qualidade do software. Descrevem-se as categorias:

6.1.1 Quanto ao Usuário Final

Esta pesquisa considerou, além dos requisitos de software, as características necessárias ao usuário, já que os princípios e práticas de engenharia de requisitos se aplicam a sistemas completos. Um sistema é a coleção de componentes: máquina, software e humanos (HULL, JACKSON e DICK, 2004).

Assim, dos dados coletados, a tabela a seguir demonstra características essenciais e necessárias ao Usuário Final descritas em outros estudos.

TABELA 12: Características Ao Usuário Final

Quanto ao Usuário Final (UF)		
Categoria	Requisito	Autor/es
UF1	Pacientes capazes de idealizar e planejar movimentos	MACHADO (2009)
UF2	Aprendizagem de controlar sinais biológicos (biofeedback)	MIRANDA (2006)
UF3	Iniciativa voluntária do usuário	HEIDRICH (2013)
UF4	Promover neuroplasticidade; sistema otimizar o processo de ensino-aprendizagem; Uso da plasticidade do cérebro para incorporar dispositivos protéticos para a representação do corpo	LEBEDEV e NICOLELIS (2006); NICOLELIS (2008); VIVEIROS e CAMARGO (2010)
UF5	Não comprometer o estado físico da pessoa	HEIDRICH (2013)

Fonte: Próprio Autor

A ICC capta sinais cerebrais, que são atividades elétricas produzidas pelo cérebro, mas é preciso que essas ondas tenham padrões. Viu-se que as ondas cerebrais mudam conforme a situação fisiológica, especialmente com o nível de vigilância e a função integrativa da mente, que inclui os processos de pensamento e memória, evidenciados nas categorias de UF1 a UF4. Assim, o usuário final precisa ter preservado o córtex, principalmente nas áreas associativas (interpretação de sensações e elaboração de planos de ação), a área de Wernicke (metacognição: pensamento e linguagem) e a área para a memória de curto prazo. Somente assim será possível, por parte do usuário, desenvolver Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA) para operar o sistema.

A categoria UF5 reforça que a ICC não pode comprometer o estado físico da pessoa, visto que uma cirurgia cerebral pode afetar os requisitos humanos e submeter o paciente aos riscos de vida. Então, embora menos precisas, as ICC não invasivas são mais seguras.

6.1.2 Quanto ao Processo de Desenvolvimento

Quanto ao Processo de Desenvolvimento do projeto e do sistema, os requisitos a seguir propõem menor risco de ingerência e melhor qualidade.

TABELA 13: Processo de Desenvolvimento

Quanto ao Processo de Desenvolvimento (PD)		
Categoria	Requisito	Autor/es
PD1	Pesquisador multidisciplinar	PETERMAN (2010)
PD2	Cooperação entre várias áreas multidisciplinares	VALLABHANENI e WANG (2004)
PD3	Tecnologias se popularizarem cada vez mais	VALLABHANENI e WANG (2004); GRAIMANN, ALLISON e PFURTSCHELLER (2010)
PD4	Maior interesse governamental	HEIDRICH (2013); NICOLELIS (2008); VALLABHANENI e WANG (2004)

Fonte: Próprio Autor

As categorias PD1 e PD2 demonstram que uma equipe para a complexa abrangência de desenvolvimento de ICC vai além da divisão de tarefas, mas pressupõe quebra de barreiras de disciplinas e de conhecimentos entre as ciências. A categoria PD3 se refere tanto à popularização dos dispositivos com custos menores quanto a investimentos em pesquisas (PD4) e publicações (PD3), para que o avanço tecnológico seja um crescente espiral.

6.1.3 Quanto aos Fatores Internos da Qualidade do Software

Os pesquisadores, desenvolvedores e implementadores precisam se debruçar em soluções que se apliquem técnicas internas, tais como as da Tabela 14.

TABELA 14: Fatores Internos

Quanto aos Fatores Internos (FI)		
Categoria	Requisito	Autor/es
FI1	(API's) necessárias para comunicação e configuração	PETERMAN (2010)
FI2	Utilização de várias ferramentas e tecnologias que se inter-relacionam para obter o resultado final	BENTO (2008); PETERMAN (2010)
FI3	Versatilidade do sistema em relação à adaptação a vários utilizadores diferentes	BENTO (2008)
FI4	Comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo	BERGER (2008); HEIDRICH (2013); NICOLELIS (2013); NICOLELIS (2008)
FI5	Segurança e precisão aliada a um robusto acesso aos sinais neurais capturados; Otimizar a relação sinal-ruído; Potência suficiente para uma relação sinal-ruído favorável	BENTO (2008); MACHADO (2009); NICOLELIS (2013); NICOLELIS (2008)
FI6	Considerar interferências externas	MACHADO (2009)
FI7	Capacidade de decodificar classes discretas de movimento, tais como início e término	MACHADO (2009)
FI8	Capacidade de decodificar seleção entre diversas escolhas; (sistema de comando multidimensional)	MACHADO (2009); VALLABHANENI e WANG (2004)
FI9	Usar eletrodos menores	MOURA (2013)
FI10	Avançados algoritmos e sistemas de registro	MACHADO (2009); NICOLELIS (2008); VALLABHANENI e WANG (2004)
FI11	Modelo de registro de evolução do sistema; gravações de longo prazo da atividade neuronal de várias áreas do cérebro	MOURA (2013); LEBEDEV e NICOLELIS (2006)
FI12	Processo em um único decodificador	LEBEDEV e NICOLELIS (2006)
FI13	Velocidade em tempo real	HEIDRICH (2013); MACHADO (2009); VALLABHANENI e WANG (2004)

Fonte: Próprio Autor

Quanto aos requisitos internos, a Reusabilidade, Compatibilidade e Manutencibilidade foram identificadas na categoria FI1, destacando a necessidade de disposição de API's⁸⁶ necessárias para comunicação e configuração. Já o requisito Corretude muitas vezes fica prejudicado pelos ruídos na captação das ondas cerebrais e por suas variações em oscilações, frequência, amplitude e fase. Isto mostra um desafio requerido na categoria robustez em FI5, FI6 e FI7, que descreve uma necessidade de segurança e de precisão, aliada a um robusto acesso aos sinais neurais capturados, otimizando a relação sinal-ruído e estabelecendo

⁸⁶ API - Application Programming Interface: Interface de Programação de Aplicativos é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do software, mas apenas usar seus serviços.

potência suficiente.

A Maturidade e Recuperabilidade são requisitos que auxiliam nesse desafio, solicitando avançados algoritmos e sistemas de registro e modelo de registro de evolução do sistema; gravações de longo prazo da atividade neuronal de várias áreas do cérebro (categorias F110 e F111), além de que o processo ocorra em um único decodificador (F12) e com eletrodos menores (F19).

Uma ICC, muitas vezes, requer a utilização de várias ferramentas e tecnologias que se inter-relacionam, para assim obter o resultado final e a versatilidade do sistema em relação à adaptação a vários utilizadores diferentes. Então necessita flexibilidade, portabilidade, performance e robustez (F12 e F13).

A capacidade de decodificar uma seleção entre diversas escolhas e ter um sistema de comando multidimensional (F18) possibilitará a execução de mais atividades. Mas não se pode perder de vista que o que caracteriza uma ICC é a comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo (F14).

6.1.4 Quanto aos Fatores Externos da Qualidade do Software

Quanto aos fatores externos, foram requisitos apontados:

TABELA 15: Fatores Externos

Quanto aos Fatores Externos (FE)		
Categoria	Requisito	Autor/es
FE1	perfis específicos para cada usuário; Interfaces adaptativas baseadas no estado cognitivo	DESNEY e ANTON (2010); PETERMAN (2010)
FE2	Feedback de utilização como sinal wireless, nível de bateria, tempo de uso, etc.	HEIDRICH (2013); PETERMAN (2010)
FE3	melhor acurácia e menor tempo de treinamento	MACHADO (2009); VALLABHANENI e WANG (2004)
FE4	sistema de comando multidimensional; múltiplos canais de informação "sensorial" de volta para o cérebro do sujeito	LEBEDEV e NICOLELIS (2006); VALLABHANENI e WANG (2004)
FE5	Melhor conforto dos eletrodos	PETERMAN (2010); RIBEIRO, FRESSATTI e MOURA (2013)
FE6	Ser envolvente	BENTO (2008)

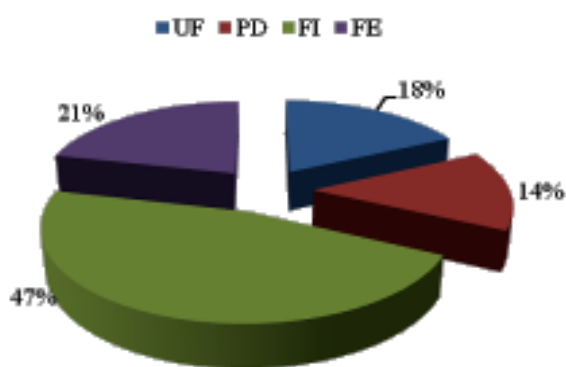
Fonte: Próprio Autor

Adequação, interoperabilidade, adaptabilidade e operacionalidade foram

requisitos descritos na categoria FE1, solicitando perfis específicos para cada usuário e Interfaces adaptativas baseadas no estado cognitivo.

A capacidade do produto de software de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados foi descrita na categoria (FE3). O feedback (FE2, FE4) pode favorecer que a interface seja perceptível e qualifique a inteligibilidade, apreensibilidade, memorização e tolerância a erros. Já as categorias (FE5, FE6) buscam requisitos de ergonomia, satisfação e atratividade.

GRÁFICO 2: Porcentagem de Requisitos de Softwares por categoria



Fonte: Próprio Autor

Como se percebe, a porcentagem de requisitos de softwares por categoria é mais elevada nos fatores internos, chegando a 13 indicadores, representando 47% da amostragem. Isso vai ao encontro com a colocação de Meyer (1997) quando diz que a chave para alcançar os fatores externos da qualidade do software é que os internos garantam as qualidades ocultas.

6.2 DA SELEÇÃO DO DISPOSITIVO DE ICC: MUSE™ INTERAXON

A escolha do dispositivo portátil, para desenvolver uma ICC aplicada a desenvolver um novo canal de comunicação alternativa, levou em conta requisitos de sistema básicos para qualidade em uso da ICC, levantados e descritos anteriormente (Estudos experimentais e aplicados).

Dos dispositivos de ICC portáteis apresentados no Capítulo 3.5, o OpenBCI e o OpenEEG são ferramentas genéricas que necessitam que se adquira eletrodos

separadamente. Além disso, é necessário conhecimento em eletrônica e em programação de placas eletrônicas, então, para que o projeto não se tornasse complexo e ingerenciável, esses foram descartados da escolha. Restaram os seguintes:

TABELA 16: Seleção de dispositivos - Etapa 1

		
NIA™ - Neural Impulse Actuator	BCI2000	Emotiv® Epoc / Insight
		
NeuroSky® MindSet	Muse™ Interaxon	IMEC and Holst Centre

Fonte: Próprio autor. Adaptado de imagens do Google

Nos requisitos quanto ao usuário final, considerou-se a categoria UF5 - Não comprometer o estado físico da pessoa; e FE6 - Melhor conforto dos eletrodos. Sendo assim, e tendo em vista que pacientes com deficiência física grave geralmente utilizam apoio atrás da cabeça, ou ficam deitados em decúbito dorsal, seria adequado não haver objetos atrás da cabeça, visto ao possível desconforto e difícil colocação. Foram desconsiderados então: NIA™ - Neural Impulse Actuator, o BCI2000, o Emotiv® Epoc/Insight e o IMEC and Holst Centre. Já o IMEC and Holst Centre demonstra-se mais praticidade de colocação, mas o eletrodo com pino de pressão pode ser desconfortável.

O BCI2000, em forma de touca, pode dificultar a colocação e facilidade de uso em pacientes acamados ou sem controle motor da cabeça. Da mesma forma, a facilidade de uso e conforto pode ser prejudicada no Emotiv® Epoc pelos seus múltiplos eletrodos.

O dispositivo NIA™ Neural Impulse Actuator possui um equipamento intermediário entre ele e o computador, desta forma, além dos fatores descritos, também não atende ao requisito dos fatores internos "FI4 - Comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo". É preciso considerar ainda que o que caracteriza uma ICC é a comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo (FI4).

Na seleção dos dispositivos restaram:

TABELA 17: Seleção de dispositivos - Etapa 2

	
NeuroSky® MindSet	Muse™ Interaxon

Fonte: Próprio autor. Adaptado de imagens do Google

Entre os dois dispositivos, a presilha na orelha e a bateria no lado esquerdo do NeuroSky® MindSet fez com que o Muse™ Interaxon parecesse mais simples, levando em conta a ergonomia ao usuário final. Na questão de preço, o NeuroSky® MindSet leva vantagem, custando U\$79.99 (apenas o Hardware), enquanto o Muse™ Interaxon é vendido por U\$199,00. Porém, para finalizar a escolha⁸⁷, levou-se em conta que o NeuroSky® MindSet possui apenas um sensor, enquanto o Muse™ Interaxon possui 7 sensores, ampliando possibilidades de funções.

Para se perceber como funciona a aquisição e processamento dos sinais no Muse™ Interaxon, precisou-se recorrer às especificações técnicas do dispositivo de EEG (headset), disponibilizadas pelo fabricante.

6.2.1 Características Técnicas do Muse™ Interaxon

O sistema da Interface Cérebro Computador, conforme requisitos de

⁸⁷ É importante ressaltar que a escolha do dispositivo significou o momento da pesquisa, e não descarta futuros estudos com outros dispositivos.

hardware e software já descritos, compreende: 1) o sujeito da pesquisa (PCD como aquelas com tetraplegia ou SdE) com funções cognitivas e o lobo pré frontal preservados; 2) o dispositivo eletroencefalográfico Muse™ Interaxon; 3) a conexão de rádio Bluetooth; 3) o equipamento com sistema operacional (Smartphone, Ipad, Notebook); 4) o software que será desenvolvido com APIs e bibliotecas de detecção específicas⁸⁸ para processar os dados e transformá-los em comandos; e 5) o teclado virtual que terá a interação do usuário por tais comandos.

FIGURA 37: Sistema da ICC



Fonte: Próprio autor. Adaptado de imagens do Google

A PCD com tetraplegia ou SdE, dependendo da gravidade motora, pode emitir sinais ao Muse™ através do movimento das suas pálpebras ou da sua atividade cerebral para se comunicar com o exterior.

A tabela a seguir descreve especificações técnicas do Muse™ Interaxon:

TABELA 18: Especificações técnicas - Muse™ Interaxon

Conexão sem fio	Bluetooth 2.1 + EDR
Taxa de amostragem	220Hz ou 500Hz, dependendo do preset
Eletrodo de Referência	FPZ
Eletrodos de EEG	TP9, AF7, AF8, TP10 (seco)
Vida útil da bateria	máxima de 5 horas (bateria recarregável Li-Ion)
Materiais dos Eletrodos	prata (eletrodos frontais), borracha de silicone condutivo (eletrodos temporais - ouvido)
Peso	61g
Dimensões	Circunferência da cabeça Min: 52cm; Max: 60cm

⁸⁸ O kit de desenvolvimento (SDK), disponibilizado pela Interaxon, dá acesso através da sua API a bibliotecas (suítes) de detecção. O primeiro passo quando usar o equipamento é garantir uma boa captação do sinal de EEG. O painel de controle do equipamento, MuseLab, dá as informações necessárias.

Acelerômetro	3 eixos @ 50Hz, resolução de 10 bits, Faixa de +/- 2G
Faixa de entrada	2mV p- p AC sinal acoplado
Supressão de ruído	DRL-REF feedback com 2uV (RMS) piso de ruído; filtro de 50 ou 60Hz (pode ser configurado por região) ⁸⁹

Fonte: Traduzido do site pelo próprio autor.

6.2.1.1 Sensores

O dispositivo (Muse™) usa eletrodos secos que não requerem gel condutor e podem ser colocados diretamente sobre a pele.

Note-se que os eletrodos estão localizados na testa AF7 e AF8. Por vezes, erroneamente, a API LibMuse existente pode referir-se a estes como FP1 e FP2. O fabricante informa que pode ser corrigido no futuro para refletir com mais precisão os locais corretos dos eletrodos em uma cabeça de adulto médio.

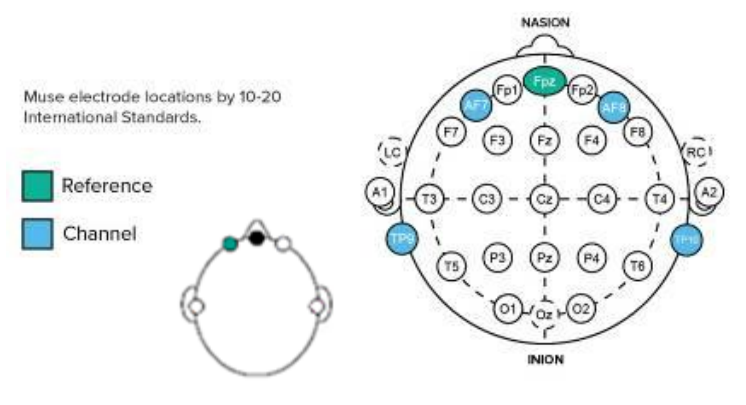
Com esta imprecisão, mas com a neuroplasticidade, ocorrerá que a aprendizagem do controle da frequência poderá ocorrer em localização cerebral diferente. O biofeedback permite ao utilizador tomar consciência da sua própria atividade cerebral e reajustá-la de acordo com a sua vontade, mediante treino. Este treino consiste em frequentes tentativas do usuário em controlar sinais e ondas cerebrais, como concentrar-se, distrair-se, pensar em algo agradável ou estressante, etc., e visualizar quais dessas tentativas produzem mudanças nos visualizadores do EEG. Quando o sujeito detecta mudanças, então procura repetir até que aprenda a ter cada vez mais rapidamente o controle daquele tipo do sinal ou onda.

A figura a seguir destaca em cores a localização dos sensores Muse™ Interaxon, a partir do sistema internacional 10-20 de eletroencefalografia⁹⁰.

Os eletrodos EEG são normalmente identificados por uma combinação de uma letra e um número. A letra indica a parte da cabeça onde o eletrodo está localizado (F para frontal, C para central, etc.). O número indica distância da linha média da cabeça com números pares no hemisfério direito e números ímpares à esquerda.

⁸⁹ A fim de eliminar qualquer influência eletromagnética da rede elétrica que possa estar próxima do dispositivo, este possui filtros nas frequências de 50Hz e 60Hz. A frequência de 50Hz é a usada na Europa e a de 60Hz em grande parte dos países da América.

⁹⁰ O sistema internacional 10-20 é utilizado no mapeamento das posições onde serão fixados os eletrodos para registrar os sinais do Eletroencefalograma. Utiliza 21 pontos que são marcados dividindo o crânio em proporções de 10% ou 20% do comprimento das distâncias entre os pontos de referência, nasion e inion.

FIGURA 38: Localização 10-20 dos sensores Muse™ Interaxon

Fonte: Interaxon

Cada eletrodo detecta flutuações de tensão que são comparadas com um eletrodo de referência (no caso o FpZ) e, em seguida, amplificadas em torno de 1.000.000 de vezes.

Cada sinal de eletrodos reflete a diferença de potencial elétrico entre esse eletrodo e um eletrodo de referência separado. Assim, os dados podem variar consideravelmente de acordo com o lugar onde os eletrodos de referência são colocados. Com Muse™, a referência está localizada na frente da testa.

FIGURA 39: Detalhamento do Muse™ Interaxon

Fonte: Interaxon

6.2.1.2 Transformações dos dados analógicos em digitais

Para que o Muse™ Interaxon obtenha dados significativos do EEG, por primeiro o EEG é filtrado para reduzir os sinais que não vêm do cérebro. Os filtros removem as frequências que ficam fora do espectro de sinais produzidos pelo cérebro, eliminando alguns dos ruídos produzidos pelos músculos ou atividade

elétrica ambiental (por exemplo, o piscar de olhos involuntário).

Os filtros normalmente são: a) de alta passagem (remoção de frequências baixas), b) passagens baixas (remoção de altas frequências) ou c) passagem de banda (permitindo apenas uma faixa específica de frequências). O Muse™ implementa um filtro passa-banda, que remove frequências fora do alcance daquelas normalmente produzidas pelo cérebro.

O MuseLab é uma ferramenta de visualização e de gravação dos sinais captados pelo Muse™ Interaxon, da qual pode-se visualizar sinais personalizando filtros.

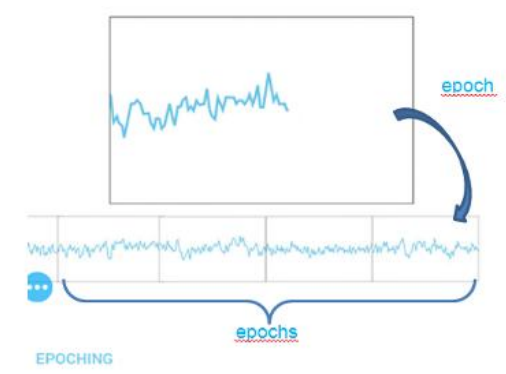
FIGURA 40: MuseLab



Fonte: Interaxon

Em seguida, o EEG é dividido em pequenos segmentos ou épocas (epochs). O cérebro muda constantemente e o EEG muda com ele. Dividir o EEG em épocas permite que cada momento no tempo seja analisado individualmente. Analisar como as propriedades dessas épocas variam, permite quantificar como o cérebro muda ao longo do tempo.

FIGURA 41: Dividindo o sinal



Fonte: EEG 101. Google Play.

Depois que o EEG foi dividido em épocas, aqueles que contêm uma quantidade significativa de ruído podem ser ignorados. Uma maneira simples de definir uma quantidade significativa de ruído é comparar a variável de uma época em relação aos seus vizinhos. Se o sinal se move em uma época muito mais do que em seus vizinhos, é provável que haja uma fonte de ruído.

FIGURA 42: Remoção de ruído.

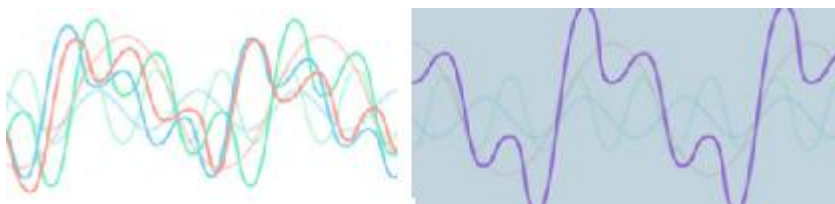


Fonte: EEG 101. Google Play.

Uma vez que o ruído é removido, o EEG no Muse™ pode ser dividido em muitos sinais ou ondas periódicas mais simples. Cada onda é caracterizada por certa frequência (número de ciclos por segundo, Hertz (Hz)). Uma onda de alta frequência tem muitos ciclos por segundo, enquanto que uma onda de baixa frequência tem menos ciclos por segundo. Ondas de frequências diferentes estão associadas a diferentes padrões de disparo neural.

Sinais complexos podem ser divididos pelo Muse™ em sinais mais simples com uma função matemática conhecida como Transformada de Fourier (*Fourier Transform*). A Transformada de Fourier decompõe um sinal complexo em uma coleção de ondas de seno simples. Muitas vezes, usa-se um algoritmo especificamente chamado de Transformação de Fourier Rápida (*Fast Fourier Transform* - FFT) para realizar esta decomposição no Muse™.

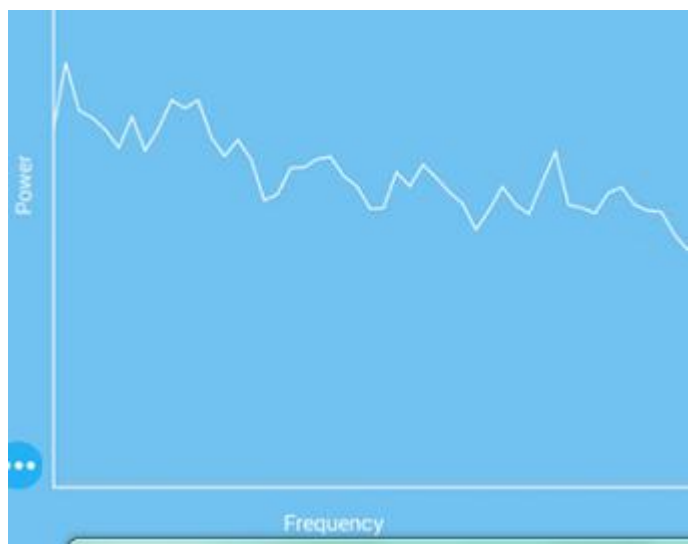
FIGURA 43: Fourier Transform.



Fonte: EEG 101. Google Play.

Quando aplicada a Transformada de Fourier ao EEG do Muse™, obtém-se uma medida da intensidade do sinal em frequências determinadas, representadas em unidades de potência, ou Densidade Espectral de Potência (Power Spectral Density - PSD).

FIGURA 44: Fourier Transform.



Fonte: EEG 101. Google Play.

Neste gráfico, o eixo X representa a frequência e o eixo Y representa a potência (microvolts quadrados, em decibéis (dB)). A potência representa a intensidade de uma frequência em um sinal complexo. Quando a potência é alta para apenas algumas frequências, significa que o sinal é composto principalmente por esses poucos elementos. Se todas as frequências tiverem potência semelhante, o sinal parecerá aleatório e será difícil de interpretar.

O PSD pode ser dividido em diferentes faixas de frequência (nomeadas pelas letras gregas Delta δ , Theta θ , Alpha α , Beta β , Gamma γ). Cada banda de frequência exibe atividade correlacionada com diferentes processos cerebrais. Essas bandas são muitas vezes referidas como ondas cerebrais.

Para aproveitando das ondas cerebrais, para criar uma interface simples do cérebro-computador, é preciso observar como a frequência da banda de frequência é alterada ao longo do tempo. É possível aproveitar essas mudanças como um canal de comunicação que permite que o cérebro interaja com um dispositivo externo, como um computador.

6.2.1.3 Interação do sistema

A ICC desenvolvida neste estudo, juntamente com o Muse™ Interaxon, propõe-se detectar os seguintes tipos de interação:

a) Ativa: A ICC ativa envolve o usuário gerando sinais cerebrais ativamente para controlar um computador. Por exemplo, usando pensamentos imaginados de animais, direções (p.e., pensar para frente), frutas, cores, etc. A função das ICC ativas é substituir as interfaces convencionais, como pensar algo especificado para ativar uma determinada tecla do teclado.

b) Reativa: As ICC reativas usam a resposta natural do cérebro aos estímulos para avaliar a intenção do usuário. Por exemplo, detectando respostas evocadas, visualmente por rastreamento em um teclado, para permitir que um usuário soquete, focalizando seus olhos em palavras específicas. As ICC reativas devem ser construídas em torno de estímulos específicos, que desenvolvam respostas cerebrais conhecidas quando percebidas.

c) Passiva: ICC passivas monitoram os estados mentais do usuário sem nenhum esforço de sua parte. Por exemplo, as ICC passivas podem monitorar atenção, relaxamento ou estado emocional e usar essas informações para ajustar elementos de um jogo.

Inicialmente pretendeu-se, nesta pesquisa, utilizar o tipo de interação Passiva para escolha de letras em um teclado virtual. Enquanto o sujeito permanecesse concentrado, em estado relaxado, o teclado virtual ficaria fazendo o rastreamento de teclas até que, quando chegasse à letra desejada, o usuário mudaria de estado, ficando alerta e, com isso, acionando um "autoclique". Para tanto, haveria a necessidade de semanas ou meses de exercícios e treinos⁹¹, pois habitualmente a mudança de um estado mental para outro leva alguns minutos, perdendo o tempo exato do "autoclique" antes que a letra desejada passasse para letra seguinte do sistema de rastreamento. Somente com um longo período de exercícios é que algumas pessoas⁹² conseguiram alternar de um estado ao outro levando de três a cinco segundos (*mindfulness*⁹³).

A interação Ativa também requer maior dispêndio de tempo, pois necessita

⁹¹ extrapolando prazos institucionais desta pesquisa.

⁹² por exemplo, o youtuber Zach Bussey, que demonstra no vídeo "Muse Brain Sensing Headband Review", disponível em: <https://youtu.be/rpaeNa_4nYQ?t=2m58s>.

⁹³ vide conceito em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Atenção_plena.

realizar mapeamento cerebral de cada indivíduo e calibragem diária. Além disso, com o processamento, o EEG pode dar pistas sobre a atividade geral do cérebro, mas embora pensar em um gato, por exemplo, produza alguma alteração na atividade cerebral, é muito pequena para afetar o disparo rítmico em grande escala do cérebro para que EEG possa detectar. Dessa forma, para usar EEG para fazer uma ICC ativa, precisa-se ensinar um computador a executar um comando quando reconhece certo padrão de atividade cerebral. Este processo é chamado de aprendizagem por máquina (*Machine Learning*). Um algoritmo de *Machine Learning* é um programa de computador que aprende observando exemplos. Esse tipo de algoritmo examina muitos casos da atividade do cérebro de alguém, e encontra padrões para reconhecer o que o usuário está fazendo.

Assim, para este momento específico da pesquisa, optou-se por utilizar o tipo de interação que permeasse a forma Reativa. Neste tipo, precisou-se verificar alguma reação voluntária do sujeito, que produzisse alguma alteração na atividade cerebral, que fosse imediata para afetar o disparo rítmico e atender o tempo exato do "autoclique" na letra desejada. Para tanto, utilizou-se o pensar do piscar do olho esquerdo⁹⁴.

O esforço requerido por parte do utilizador aumenta com o número de atividades cerebrais que ele precisa treinar. Com isso, o número de comandos que se podem obter é bastante pequeno. Assim, a interface proposta precisou ser desenvolvida para ser operada com o mínimo de comandos. Desta forma, foi importante limitar a interação com a ICC apenas nessa atividade cerebral: o piscar intencional do olho.

No entanto, pode surgir a dúvida se o Muse™ Interaxon detecta o movimento da pálpebra, um ruído elétrico que não vem do cérebro ou se capta o movimento da pálpebra como um sinal cerebral. Desta dúvida argumenta-se:

⁹⁴ Inspirado no livro "Escafandro e a Borboleta", escrito pelo ex-editor-chefe da revista Elle, Jean-Dominique Bauby que, em 1995, aos 43 anos de idade tem um AVC que o deixa totalmente paralisado, com a Síndrome do Encarceramento, algo frustrante para um homem conhecido por aproveitar demasiadamente a vida. A única coisa capaz de mover é a pálpebra do olho esquerdo. Henriette, ortofonista, passa a fazer sessões corriqueiras com Bauby, instruindo-lhe a piscar os olhos uma vez quando quisesse dizer sim e duas vezes para não. Henriette percebe que ele era capaz de estabelecer um contato mais direto e lhe apresenta um método de soletração. Ela lhe ensina a utilizar uma série de letras embaralhadas, seguindo a lógica de um alfabeto, só que em frequência de uso mais utilizado no vocábulo francês, para que facilitasse a comunicação de Bauby que passou a formar palavras e frases. Através desse método de comunicação, Bauby percebeu que poderia expressar seus pensamentos e sentimentos, vislumbrando a possibilidade de produzir um livro. Então ele aprende a se comunicar piscando, e escreve esse livro de memórias.

a) Quanto à captura do movimento da pálpebra, isso é possível ser feito por uma webcam ou por sensores de movimento. O Muse™ não possui sensores de movimento, nem da pálpebra nem do rosto, apenas possui sensores de movimento da cabeça através de acelerômetro, isto é, verifica o movimento de inclinação da cabeça.

b) Quanto ao captar o movimento da pálpebra como mero ruído, é fato que o movimento dos olhos (que são carregados eletricamente) e a atividade muscular produzem atividade elétrica do Sistema Nervoso Periférico (SNP), no entanto, o EEG no Muse™ possui filtros que removem esse ruído, como visto anteriormente. Assim, o piscar reflexo, sem intenção, como aquele de lubrificar os olhos, são filtrados e descartados no visualizador de *epochs* (épocas) de atividades cerebrais.

c) Quanto a ser um sinal cerebral, pôde ser inferida sua probabilidade na diferença na amplitude, oscilação e frequência na Densidade Espectral de Potência (Power Spectral Density - PSD). A hipótese é que o "pensar" em piscar, embora tenha um pequeno campo elétrico (dipolo), soma-se a atividade elétrica do "piscar" e, assim, pensar-executar escapa ao filtro passa-banda, já que a atividade elétrica origina-se no pensamento, isto é, no córtex cerebral.

Os movimentos intencionais das pálpebras detectados pelo Muse™ são nervosos, embora não sejam diretamente ondas cerebrais, isto é, são sinais elétricos, atividade cerebral⁹⁵ do Sistema Nervoso Central,⁹⁶ captados por um Eletroencefalograma, e não apenas um sinal ocular, que necessitaria de um Eletrooculograma (EOG). Então, ainda que conceitualmente o piscar possa ser ruído, teve origem no desejo consciente do sujeito.

Com a limitação de utilizar apenas uma atividade cerebral (piscar intencional), a interface poupa a carga cognitiva do sujeito, mas precisa otimizar a escrita no teclado virtual para diminuir o esforço da sua utilização. Para atingir esse objetivo, o rastreamento precisará ser automatizado por tempo e não por estado mental, além de oferecer padrões silábicos dos fonemas e fazer com que o aplicativo seja capaz de ajudar o utilizador prevendo as palavras que ele pretende escrever.

Assim, para construir o sistema que se pretende desenvolver, três fatores

⁹⁵ Assinaturas cerebrais treinadas.

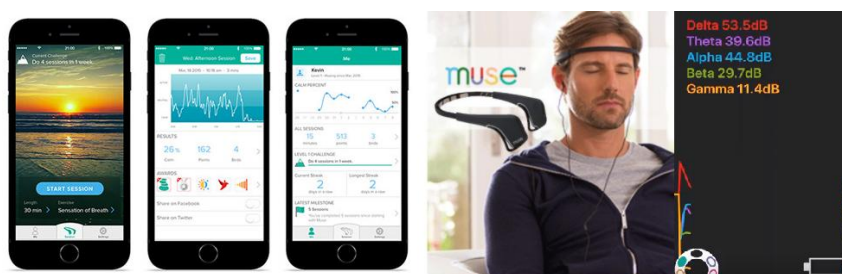
⁹⁶ O sinal de Eletrooculograma (EOG) não é o resultante da atividade muscular dos olhos, mas sim da diferença do potencial elétrico entre a córnea, carregada positivamente, e a retina, carregada negativamente. O deslocamento destes potenciais elétricos gera variações de tensão na periferia dos olhos (LINS *et al.*, 1993).

foram importantemente relacionados: as funcionalidades disponibilizadas pelo Muse™ Interaxon, o uso de um teclado otimizado e a escrita preditiva.

6.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO: O MUSEKEY

Após a escolha e importação do dispositivo Muse™, para modelar o protótipo da ICC MuseKey proposto neste estudo, o ponto de partida foi conhecer os aplicativos dirigidos a esse EEG. Dentre eles "Muse Meditation" e "Muse Monitor".

FIGURA 45: Aplicativos para Muse™ Interaxon



Fonte: Google.

O "Muse Meditation" é um aplicativo de treino para meditação em que, dentre outras interações, uma imagem de céu cheio de nuvens aparece quando os pensamentos estão ativos (ondas beta) e as nuvens vão desaparecendo, deixando o céu limpo, na medida em que há relaxamento (ondas alfa). Já o "Muse Monitor" demonstra dados gráficos e numéricos brutos das ondas Delta, Theta, Alfa, Beta e Gamma.

Diante disso, o pesquisador levantou duas hipóteses: a) se pelo pensamento o céu fica limpo ou com nuvem, pelo pensamento pode-se ativar ou desativar o rastreamento de teclas em uma varredura de letras; b) é possível quando a onda Alfa chegar em "n" disparar o comando "x" do computador, e é possível quando a onda Beta chegar em "n" disparar o comando "y" do computador.

Após esse ponto de partida, o pesquisador dedicou-se em capturar dados numéricos brutos das ondas cerebrais e deparou-se com um limitador da pesquisa: o tempo de aprendizagem do controle das ondas cerebrais e da mudança de um estado a outro, pois requer exercícios intensos e de longa duração. A limitação da pesquisa, assim, se deu em dois aspectos: a) no fator tempo, que iria requerer

meses de treinos com usuários; b) no fator equipamento, pois tais treinos dependeriam do uso do Muse™ e só havia um dispositivo para que se pudesse deixar disponível para utilização dos usuários e, ao mesmo tempo, com o pesquisador e com o programador.

Surge uma terceira hipótese: havendo algum outro sinal cerebral mais imediato, e com menos exigência de aprendizado, captável pelo Muse™, poder-se-ia utilizar seus dados neuroelétricos para que, quando chegar em "n", disparar o comando "z" do computador. Desta forma, as duas hipóteses iniciais precisaram ser deixada para futuras pesquisas, e utilizar-se desta terceira como partida neste momento de estudo.

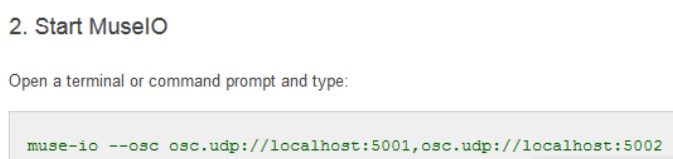
Era preciso, então, descobrir algum sinal cerebral que, após se estabelecer um padrão, qualquer valor recebido acima ou abaixo pudesse se transformar em uma funcionalidade diferente. Para tanto, foi utilizado o MuseLab⁹⁷ para verificar como as ondas se comportavam e, com isso, foi possível verificar que o sensor do canal EEG(0) do Muse™ tem uma intensidade bem maior que os outros canais no ruído, verificado quando se pisca os olhos com intenção.

Diante disso, especifica-se o desenvolvimento do MuseKey (da ICC e do teclado virtual).

6.3.1 Especificações do Desenvolvimento

O Muse™ é, por padrão, comercializado para uso com dispositivos móveis que se utilizam de Android ou IOS. Para que se iniciasse o desenvolvimento da ICC era preciso fazer com que o Muse™ se comunicasse com o computador. Isto foi possível através de conexão Bluetooth. Após pareamento do Muse™ com o computador, cria-se uma porta serial virtual.

FIGURA 46: Instrução de porta serial virtual



```
2. Start MuseIO
Open a terminal or command prompt and type:
muse-io --osc osc.udp://localhost:5001,osc.udp://localhost:5002
```

Fonte: Interaxon.

⁹⁷ O MuseLab é uma ferramenta de visualização e gravação para o Muse™ e outros tipos de dados. Ele recebe dados sobre o OSC do MuseIO.

O periférico comunicador serial é um componente de extrema importância em computadores, pois permite comunicação bidirecional entre máquinas e transmite um byte, bit por bit, em sequência pré-estabelecida e pré-programada, para que o receptor possa recebê-lo e transformá-lo novamente em byte, igual ao originalmente transmitido. Além do byte, que se refere ao canal serial, são inseridos também alguns bits de start e de stop, que sinalizam ao receptor o início e o fim da transmissão/recepção do byte. Tipicamente, costuma-se codificar o byte a ser transmitido em código ASCII, pois é o padrão universal de comunicação. Além destes pré-requisitos, é fundamental que as frequências do transmissor e do receptor sejam as mesmas (chamado *Baud Rate*). (NICOLOSI, 2000, p. 176).

Como ferramenta utilizada na geração do protótipo foi utilizado o NetBeans IDE 8.1, que possui ambiente de desenvolvimento integrado (*IDE - Integrated Development Environment*). O NetBeans IDE é um ambiente de desenvolvimento gratuito e de código aberto para desenvolvedores de software nas linguagens *Java*, *JavaScript*, *HTML5*, *PHP*, *C/C++*, *Groovy*, *Ruby*, entre outras. O IDE é executado em diferentes plataformas, como Windows, Linux, Solaris e MacOS. A maioria dos desenvolvedores reconhecem o NetBeans IDE como o Java IDE original grátis.

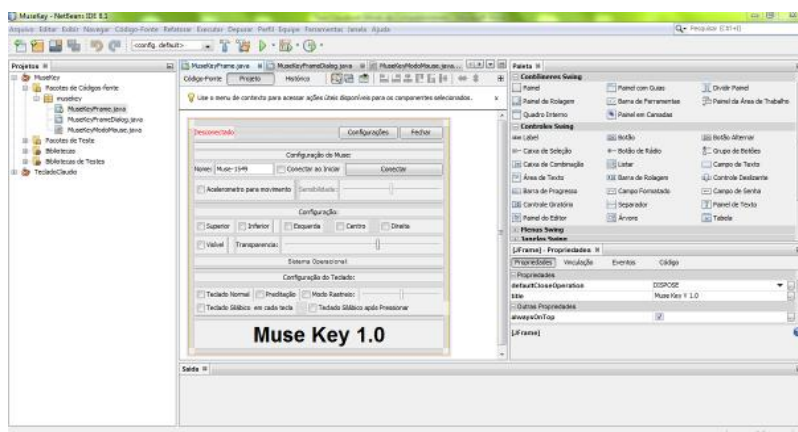
A linguagem utilizada foi a Java. Java é uma linguagem de paradigma, orientada ao objeto que trabalha exclusivamente com manipulação de objetos. Além de ser usada para fazer programas pessoais de diversos ramos de empresas e negócios, Java é empregada para criar páginas Web com conteúdo dinâmico e interativo, desenvolver aplicativos corporativos de larga escala, aprimorar as funcionalidades de servidores e fornecer aplicativos para dispositivos ao consumidor final (HORSTMANN e CORNELL, 2001).

O Java SE ou J2SE (*Java 2 Standard Edition*) é uma ferramenta de desenvolvimento para a plataforma Java. Ela contém todo o ambiente necessário para a criação e a execução de aplicações Java, incluindo a máquina virtual Java (JVM), o compilador, as APIs e outras ferramentas utilitárias para uma melhor funcionalidade (PEDROSO, 2014).

A escolha dessa ferramenta e linguagem se deu por ser conhecida do programador da ICC MuseKey e por ser a linguagem de suporte do fabricante do Muse™.

A Figura 47 mostra a fase inicial da programação sendo realizada no NetBeans em modo de design.

FIGURA 47: Fase inicial da ICC MuseKey no NetBeans



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

O primeiro ensaio da programação era criar uma Interface que estabelecesse a comunicação do computador ao Muse™, após já haver pareamento⁹⁸ estabelecido.

Para que isso ocorresse foram necessárias as bibliotecas⁹⁹ "*muse_java_osc_server*" e "*oscP5-0.9.8*". Essas bibliotecas são disponibilizadas pelo fabricante para ter acesso às informações dos sensores.

Em seguida foi preciso as seguintes instruções para criar uma ICC inicial: a) manter uma constante comunicação do Muse™ com a Interface, incorporando no código de programação a porta serial virtual; b) identificar o sensor do canal EEG(0) do Muse™, cujo sinal iria ser monitorado; c) informar um valor padrão para esse sinal elétrico; d) designar que qualquer valor recebido acima ou abaixo (ruído) fosse transformado em uma funcionalidade, no caso, envio da tecla "Enter" do computador (Vide Quadro 5).

Com isso, o Muse™ passa a enviar os dados dos sensores de ondas cerebrais (do canal EEG(0)) e o software fica monitorando esses sensores até que aconteça um ruído. O resultado disso ao Usuário Final torna-se: "*quando o usuário piscar o olho, a tecla Enter é pressionada*".

⁹⁸ Parrear dispositivos é o ato de estabelecer uma comunicação segura entre o dispositivo que deseja se comunicar com um outro dispositivo, que deve informar um código. No caso do Muse, o código é o número de série do dispositivo. Após emparelhar, como o endereço Bluetooth é permanente, o pareamento é preservado.

⁹⁹ Quando se escreve um programa, usando uma linguagem de programação, existe a possibilidade de reusar um conjunto de funções pré-escritas por outros programadores, que já resolveram determinados problemas, para que seja desnecessário "reinventar a roda". A esse conjunto de funções dá-se o nome de Biblioteca, do inglês, Library.

QUADRO 5: Instruções para criar a ICC inicial

Instrução A	<pre> if (!conectado) { if (Mac) { Runtime.getRuntime().exec(new String[]{"open", "/Applications/Muse/muse-io"}); // resolver para m } else if (Win) { Runtime.getRuntime().exec(new String[]{"cmd.exe", "/c", "start", "muse-io", "--device", "Muse-1549", "--osc", "osc.udp://localhost:5000"}); } else { JOptionPane.showMessageDialog(null, "Sistema Não identificado", "Erro!", JOptionPane.OK_OPTION); } } </pre>
Instrução B	<pre> void oscEvent (OscMessage msg) { if (!conectado) { setConectado(); } if (msg.checkAddrPattern("/muse/eeg") == true) { float tempSensor1 = msg.get(0).floatValue(); if (bloqPiscarEsq == 0) { if (tempSensor1 < ajPiscarEsq) { bloqPiscarEsq = 300; } } } } </pre>
Instrução C	<pre> int contPiscar = 0; int ajPiscar = 900; // variavel de ajuste, acima soma cont int libPiscar = 40; //após 40 leituras acima de ajPiscar Libera int bloqPiscar = 300; // Inicia com 300 para bloquear no inicio devido a ruído ao iniciar </pre>
Instrução D	<pre> } else { contPiscar = 0; } if (contPiscar > libPiscar) { press(KeyEvent.VK_ENTER); // tecla que envia } bloqPiscar = 300; } } else { </pre>

Fonte: Próprio Autor. Capturas de Tela.

Em execução, a interface MuseKey com opções de configurações abertas, inicia demonstrando se o Muse™ está em comunicação ativa com o computador (Conectado ou Desconectado). Identifica o Muse™ que está pareado e, se a porta serial virtual não estiver criada, cria-se com o botão Conectar.

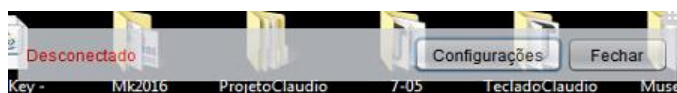
FIGURA 48: ICC MuseKey com opções de configurações abertas



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

Com as configurações fechadas, a ICC MuseKey fica em segundo plano, podendo ajustar sua transparência para não dificultar a visão da área de trabalho.

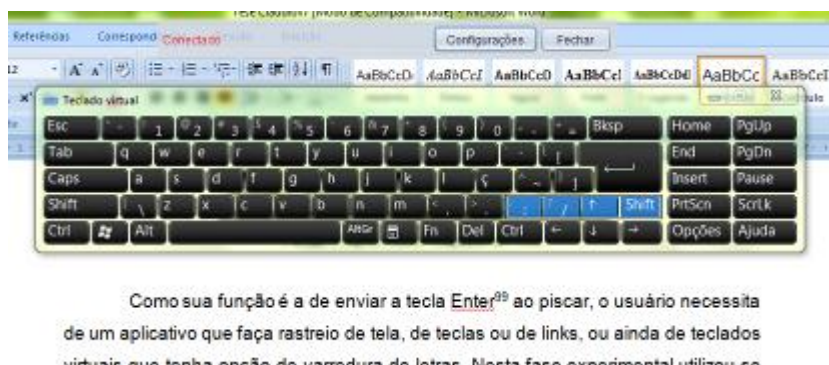
FIGURA 49: ICC MuseKey com opções de configurações fechadas



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

Como sua função é a de enviar a tecla Enter¹⁰⁰ ao piscar, o usuário necessita de um aplicativo que faça rastreamento de tela, de teclas ou de links, ou ainda de teclados virtuais que tenha opção de varredura de letras. Nesta fase experimental utilizou-se o Teclado Virtual do Windows¹⁰¹.

FIGURA 50: ICC MuseKey interagindo com Teclado Virtual do Windows



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

Uma vez conseguida a interação entre uma Interface Cérebro Computador e um teclado virtual, o desafio seguinte foi o de integrar a comunicação do Muse™ com um teclado virtual próprio, o Teclado MuseKey.

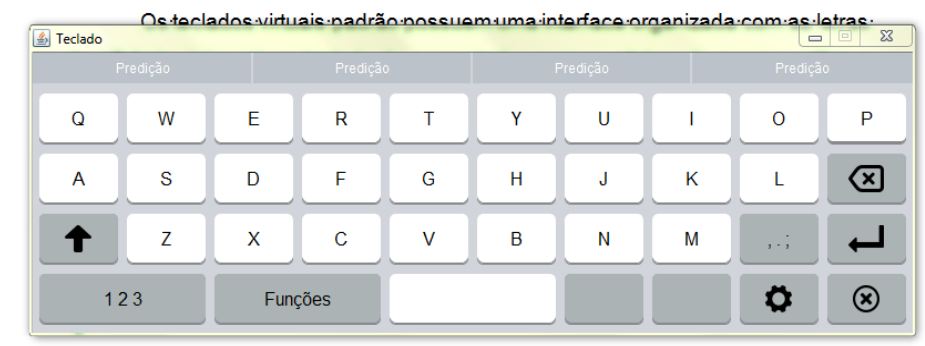
Os teclados virtuais padrão possuem uma interface organizada com as letras do alfabeto, tal qual um teclado de computador comum, obrigando quem o utiliza a acionar tecla por tecla, letra por letra. Com a mesma intenção do Mousekey-UFRGS, a ideia para o MuseKey foi a de otimizar esse acionamento, ou seja, além de teclas alfabéticas, oferecer teclas que dispõem de duas ou mais letras (sílabas), simulando assim dois ou mais dispositivos de acionamento simultâneo, que é o que se propõe ao desenvolver um teclado virtual silábico-alfabético.

¹⁰⁰ A instrução de envio da tecla Enter pode ser substituída por qualquer outra tecla.

¹⁰¹ Poderia ser usado o Mousekey-UFRGS, mas eram necessários ajustes da opção Rastrear, não realizadas nesta etapa de pesquisa, e disponíveis em nova versão.

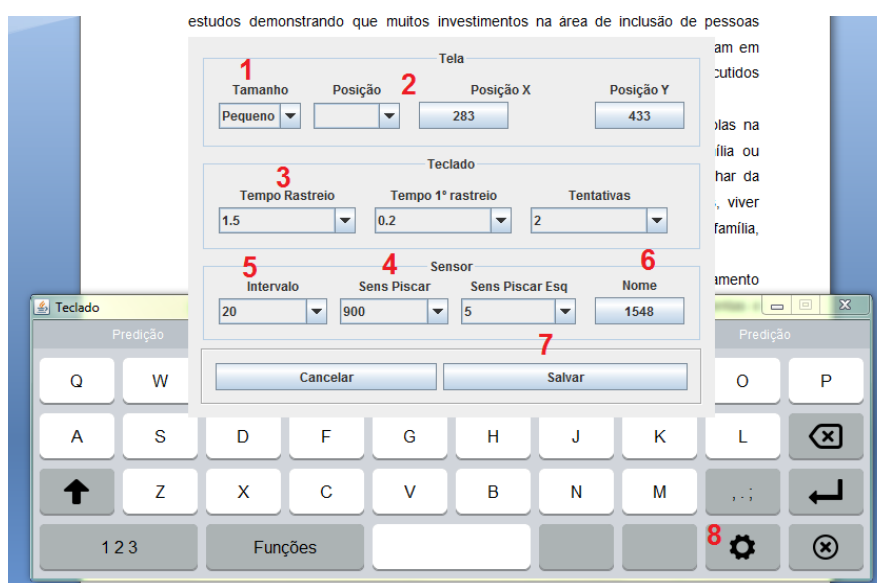
FIGURA 51: Utilizando o Teclado MuseKey

Uma vez conseguida a interação entre uma Interface Cérebro-Computador e um teclado virtual, o desafio seguinte foi o de integrar a comunicação do Muse com um teclado virtual próprio, o Teclado MuseKey.¹⁰²



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

Assim, o Teclado MuseKey é uma ferramenta, uma aplicação, para a ICC MuseKey. A Figura 52 mostra as opções de configurações do Teclado MuseKey, que permitem: (1) ajustar o tamanho do layout; (2) a posição do teclado na tela; (3) o tempo e tentativas de rastreo; (4) a amplitude do neurossinal (sensibilidade ao piscar); (5) intervalos entre frequências de amplitudes próximas¹⁰²; (6) Identificação do Muse™; (7) opção de salvar as configurações¹⁰³. Botão de abrir as opções de configurações (8).

FIGURA 52: Opções de Configurações do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

¹⁰² Separação de fases para evitar repetidos comandos em um só piscar.

¹⁰³ Armazenadas no arquivo "config.json".

Ao inicializar, é detectado o sistema operacional do computador, na função "systemWho()", necessário para identificar as diferenças de teclas por sistema e para iniciar a porta de comunicação do Muse™.

6.3.2 Requisitos de Software

Como requisitos de software para o MuseKey, buscou-se fatores internos e externos, com base nos estudos experimentais e aplicados já apresentados (no capítulo 6.1). Selecionou-se os seguintes:

TABELA 19: Requisitos de Software para o MuseKey

Categoria	Quanto aos Fatores Internos (FI)
Ter Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> Utilização de várias ferramentas e tecnologias que se inter-relacionam para obter o resultado final
Ser Confiável	<ul style="list-style-type: none"> Manter seu desempenho sem falhas, mesmo quando usado em condições de múltiplas tarefas, já que o usuário poderá necessitar usar recursos concomitantes; Segurança e precisão aliada a um robusto acesso aos sinais neurais capturados; Otimizar a relação sinal-ruído; Obter potência suficiente para uma relação sinal-ruído favorável. Capacidade de decodificar classes discretas de movimento, tais como início e término.
Ser Usável	<ul style="list-style-type: none"> Velocidade em tempo real.
Ter Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de usar tipos e quantidades apropriados de recursos de TA e outros utilitários
Ser Modificável, Adaptável e Acessível	<ul style="list-style-type: none"> Versatilidade do sistema em relação à adaptação a vários utilizadores diferentes
Categoria	Quanto aos Fatores Externos (FE)
Ter Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> Permitir que pessoas com dificuldades motoras consigam escrever
Ser Usável	<ul style="list-style-type: none"> Precisa facilmente ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário; Melhor acurácia e menor tempo de treinamento; Velocidade em tempo real.
Ter Segurança	<ul style="list-style-type: none"> Não comprometer o estado físico da pessoa; Melhor conforto dos eletrodos.
Ter Eficiência	<ul style="list-style-type: none"> Permitir que o usuário produza quantidades de textos em menores tempos e esforços
Ser Modificável, Adaptável e Acessível	<ul style="list-style-type: none"> Corresponder aos diferentes tipos de necessidades

Fonte: Próprio Autor

6.3.3 Design de Software e Ergonomia

Atendendo as recomendações de design de software e ergonomia para o Teclado MuseKey, seguiu-se as seguintes estratégias:

TABELA 20: Estratégias de design de software e ergonomia

RECOMENDAÇÕES	ESTRATÉGIAS
Usabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de aprendizado mantendo uma sequência lógica nas disposições das sílabas; • Diferentes ajustes de ação e tempo para que a produtividade seja elevada.
Carga Cognitiva	<ul style="list-style-type: none"> • Teclas de letras e sílabas em planos diferentes, com cuidado estético; • Camadas em diferentes níveis entre teclas de funções específicas.
Imagens e Animações	<ul style="list-style-type: none"> • Proximidade espacial entre botões, Quadro de conjuntos silábicos; • Imagens dos botões 3D e com diferentes níveis de profundidade; • Rastreo dos botões principais com cores claras, botões secundários com cores com baixo contraste.
Cores	<ul style="list-style-type: none"> • Botões principais com cores claras, botões secundários com cores escuras; • Maior contraste para tecla de primeiro plano ou focalizada, e cores com menor contraste para as de segundo plano; • Cinza claro para o fundo da interface (3 tons de cinza para não ficar confuso e um tom no fundo); • Branco para botões de caracteres e cinza escuro para botões de funções; Letras escuras em contraste com a cor do botão.
Textos e Fontes	<ul style="list-style-type: none"> • Arial, minúsculas e maiúsculas; • Padrão sem serifa.
Acessibilidade e Ergonomia	<ul style="list-style-type: none"> • Modo de clique e Modo de verificação (varredura); • Varredura de teclas, padrões silábicos, predição de palavras; • Opções de layout e de ação para o aplicativo adaptar-se a pessoa, e não o contrário; • Opções de posição do teclado na tela; de velocidade e tentativas do rastreo; da sensibilidade do sinal neuroelétrico; • Modo de varredura por linha e depois dividido em duas colunas, tentando usar o mínimo de passos para construção da palavra completa.

Fonte: Próprio Autor.

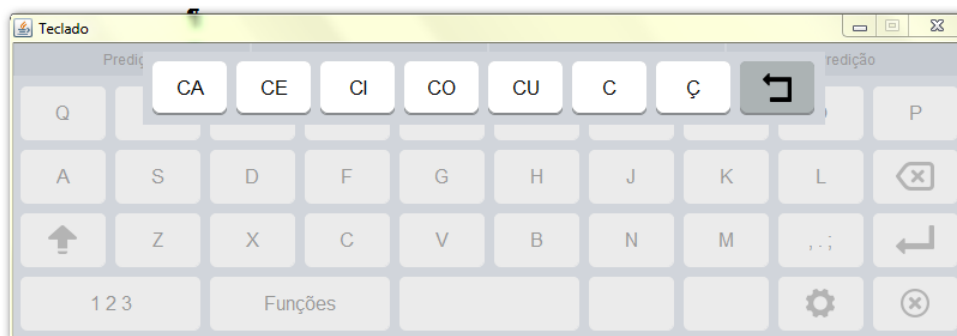
6.3.4 Construção e Verificação (Testes)

A partir das recomendações expostas, o protótipo do MuseKey resultou na interface demonstrada a seguir:

a) Ao selecionar uma letra, abre-se seu conjunto silábico, sua variação e

uma tecla de retorno caso o usuário queira cancelar a digitação e voltar ao padrão QWERT para nova varredura.

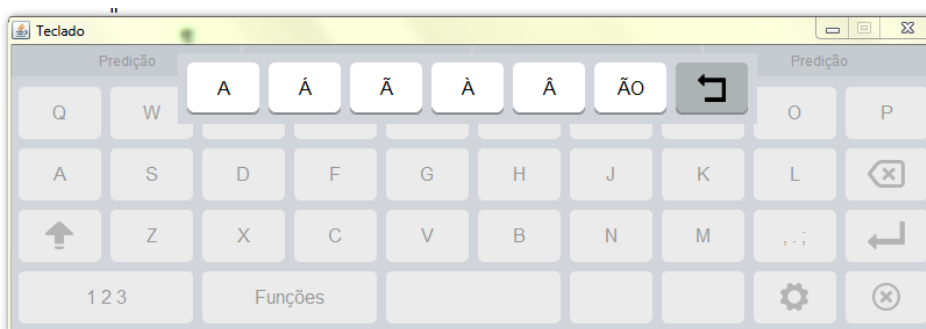
FIGURA 53: Grupo de sílabas do Teclado MuseKey



Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

b) Nos casos de vogais, abre-se seu conjunto de acentuações.

FIGURA 54: Grupo de vogais acentuadas do Teclado MuseKey



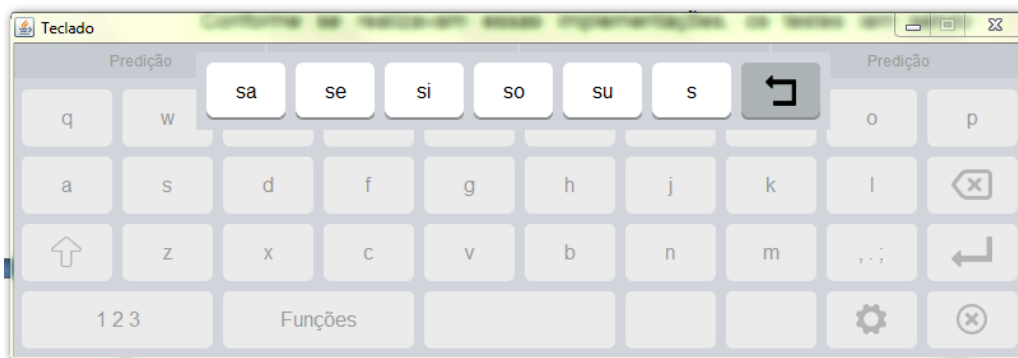
Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

c) A tecla Shift diferencia-se conforme o padrão de minúscula ou de maiúscula para todas as letras ou padrão de primeira letra maiúscula e segunda minúscula.

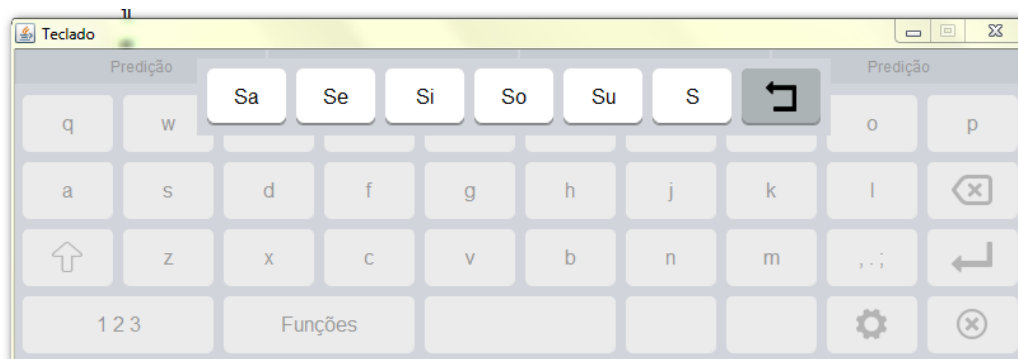
QUADRO 6: Variações da tecla Shift do Teclado MuseKey

Para minúsculas	Para maiúsculas	Para maiúsculas/minúsculas

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

FIGURA 55: Grupo de sílabas minúsculas do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

FIGURA 56: Grupo de sílabas maiúsculas/minúsculas do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

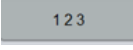
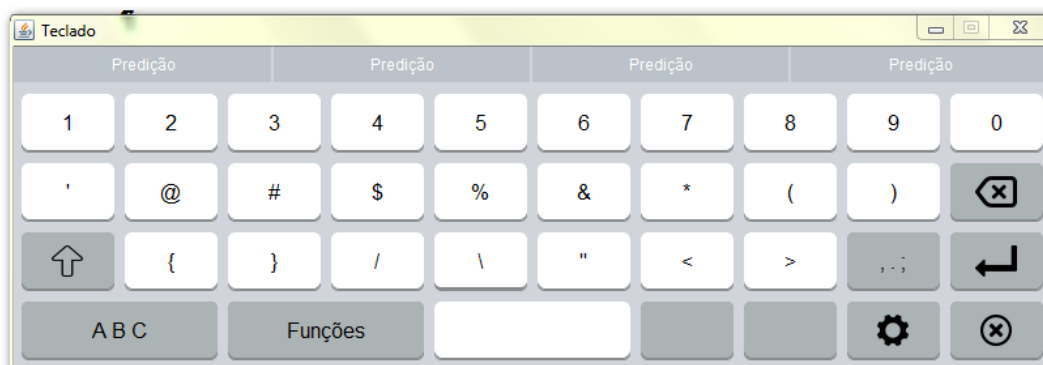
d) O botão  abre um teclado de números e caracteres especiais.

FIGURA 57: Grupo de números e caracteres especiais do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

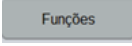
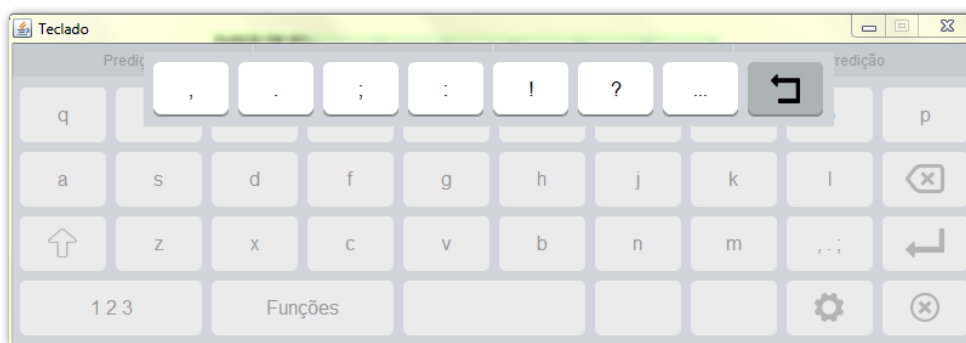
d) O botão  abre um Grupo de teclas de funções do teclado convencional.

FIGURA 58: Grupo de teclas de funções no Teclado MuseKey

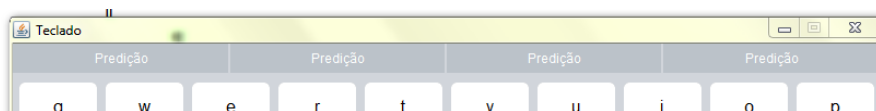
Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

e) Nos casos de pontuações de frases, abre-se seu conjunto.

FIGURA 59: Grupo de pontuações do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

f) Depois de selecionar alguma letra, o MuseKey começa a comparar com o dicionário português quais possíveis palavras poderiam ser utilizadas, mostrando na primeira linha as opções encontradas. O usuário visualiza as palavras e, com o mesmo rastreo, escolhe a palavra desejada.

FIGURA 60: Grupo de predição de palavras do Teclado MuseKey

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

g) O modo de varredura ocorre por linha, dividido em duas colunas, tentando usar o mínimo de passos para construção da palavra completa.

FIGURA 61: Grupo de varredura do Teclado MuseKey em destaque

Fonte: Próprio Autor. Captura de Tela.

Conforme se realizavam essas implementações, os testes iam sendo realizados pelo programador e pelo autor da pesquisa através do uso e da depuração¹⁰⁴ de código, em busca de erros (*bugs*).

Esse processo de teste de software passou a ser executado em paralelo ao processo de desenvolvimento. Sendo assim, o teste de software se caracterizou como: atividade de encontrar erros e defeitos ainda não descobertos antes da fase de homologação; atividade para assegurar que os requisitos especificados na fase de requisitos de software fossem realmente atendidos; atividade para certificar que as necessidades dos usuários pudessem ser atendidas.

Para tal, alguns participantes fizeram uso do programa em busca de verificar seu funcionamento. Os usuários nesta fase de modelagem não eram os sujeitos da pesquisa, pois neste momento o objetivo era a testagem, não a validação. Assim, os usuários eram pessoas aleatoriamente convidadas. Estes fizeram o Teste de caixa-preta ou funcional. Essa técnica de teste não avalia a parte interna do sistema e sim a saída das informações do mesmo.

6.4 CATEGORIA 1: AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO USUÁRIO

Para investigar como uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave, foi preciso observar, analisar e descrever o processo de interação de diferentes sujeitos, com diferentes níveis de dificuldades, utilizando essa interface, na dimensão da escrita.

Para validação buscou-se assegurar que esta ICC cumprisse com suas

¹⁰⁴ Chama-se depuração o processo de localização e correção de bugs. O Visual Basic sinaliza esses erros assim que os encontra, facilitando a sua localização e correção.

especificações e atendessem às necessidades dos usuários. Enquanto que numa Verificação o programador busca certificar-se que está fazendo o procedimento certo de desenvolvimento, na Validação busca-se certificar que está construindo o produto certo para os usuários (PRESSMAN, 2007).

Portanto, foi pertinente que usuários desta pesquisa utilizassem a ICC MuseKey para atender aos objetivos especificados no estudo. Assim, apresentam-se dados coletados na pesquisa por sujeitos e descrevem-se os resultados da interação dos participantes com a interface.

6.4.1 Sujeito 1: Porthos

O Sujeito 1, apresentado ficticiamente como Porthos, foi o participante mais jovem da pesquisa, e sua expectativa da tecnologia referente à escrita não se refere a si mesmo, mas na possibilidade de se comunicar com sua mãe, que está em estado de Síndrome do Encarceramento devido ao agravo da Esclerose Lateral Amiotrófica. Como expectativa, ainda, é que sua mãe continue participando das redes sociais e comunicações digitais, onde expressa seus recados e seus sentimentos aos familiares e amigos.

Porthos é o sujeito sem limitações motoras deste estudo. Possui autonomia para os atos da vida diária, mas foi considerado elegível para esta pesquisa devido à curiosa maneira como o sistema interpretou sua interação com a ICC.

Possui conhecimentos com tecnologias, já havia pesquisado sobre o desenvolvimento deste estudo e, ao demonstrar a ferramenta, logo demonstrou entender os procedimentos para escrever com a ICC, isto é, o teclado faz a varredura de letras linha a linha, quando o foco está na linha da letra desejada deverá piscar os olhos. O sistema, então, faz a varredura horizontal por grupos de letras, quando o foco está no grupo da letra desejada deverá piscar os olhos. O sistema rastreia letra a letra (ou sílaba a sílaba), quando o foco está na letra ou sílaba desejada deverá piscar os olhos.

Como já relatado, o sistema foi desenvolvido nesse momento da pesquisa para captar o piscar voluntário dos olhos, que se dá através dos eletrodos AF7 e AF8. No entanto, a ICC não respondia ao piscar de olhos de Porthos, mesmo após diversas tentativas de uso e tentativas de ajuste de intensidade do sinal. Oras a ICC

não executava nenhum evento¹⁰⁵, e oras acionava teclas de letras aleatórias, que não correspondia ao momento em que Porthos piscava. Porthos tentava escrever seu nome, mas quando o sistema emitia qualquer evento, não era por vontade do usuário e acionava letras sem sentido de construção de palavras.

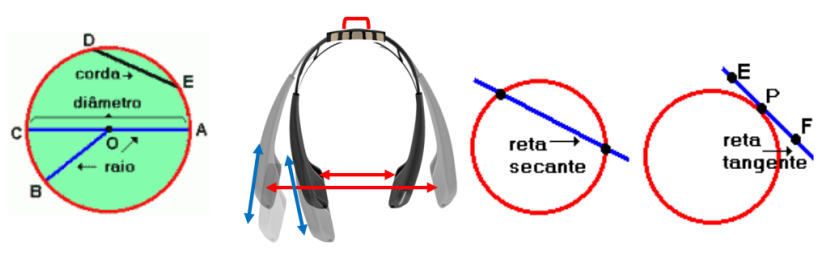
Além de tentativas de ajuste de intensidade do sinal, tentou-se a digitação pelo MuseKey e pelo Teclado Virtual do Windows, ambos sem sucesso, ajustando inclusive o tempo de avanço no sistema de varredura de letras (rastreamento de teclas). Desta forma, as tentativas de correção de erro se deram tanto na interpretação de dados de neurossinais da ICC quanto nos aplicativos de digitação.

No segundo dia de testes, Porthos percebeu ao acaso que o acionamento de teclas de letras não ocorria pelo piscar, mas pelo fechar de suas mãos. Utilizando então o movimento de fechar as mãos, conseguiu disparar sinais elétricos para que a ICC pressionasse no momento correto a letra desejada. Para palavra de 6 letras obteve o acerto de 5, resultando em uma margem de acerto de 83,3%.

Observou-se que a circunferência da cabeça de Porthos é menor e com formato alongado e estreito, contrariando demais utilizadores de cabeças grandes e redondas. Assim, é possível que a troca de interpretação do sinal de piscar de olhos pelo ruído de fechar as mãos, pela ICC, se deve a dificuldades de ajustes do dispositivo Muse™ a todos os tipos de cabeça.

O Muse™ Interaxon se ajusta à maioria de formatos de crânio, sendo possível aumentar e diminuir o diâmetro alargando o raio, e ajustar a circunferência em uma reta tangente, mas não ajusta a distância dos eletrodos em corda, isto é, em uma reta secante. O resultado disso é que os dados variam consideravelmente conforme a posição dos eletrodos, que captam o campo elétrico (dipolo) de outras redes neuronais não esperadas.

FIGURA 62: Detalhamento do Muse™ Interaxon



Fonte: Próprio Autor

¹⁰⁵ Em computação, um evento é o resultado de uma ação. A ocorrência de um evento pode provocar uma reação, que seria uma ação (ou conjunto de ações) a ser tomada.

Porthos escreveu seu nome real, mas quanto à expectativa descrita anteriormente, de se comunicar com sua mãe, a interação através do piscar de olhos não corresponde totalmente ao esperado, pois esperam que seja por frequência das ondas Alfa e Beta. Ao contatar o pesquisador, o pai de Porthos escreveu por e-mail:

Boa tarde, Cláudio. Tive o prazer de conversar no telefone com você hoje, o que me deixou muito honrado. Minha esposa M*** tem ELA (Esclerose Lateral Amiotrófica) diagnosticada em 2015. A doença evoluiu rapidamente e hoje ela encontra-se acamada, totalmente imóvel, tendo apenas algumas expressões faciais e movimento dos olhos, através dos quais nos comunicamos. Tentamos usar o TOBii mas o Tracker costuma perder os olhos dela. Assim fazemos uso do quadro, cuja imagem envio abaixo e funciona muito bem. Entretanto a evolução da doença levará à paralisção dos olhos e aí seu projeto poderá ajudá-la nesta difícil jornada. E é importante que ela treine enquanto ainda tem a possibilidade de comunicação atual! Agradeço antecipadamente a gentileza de nos dar a sua genial contribuição. Quanto ao Muse, meu cunhado já comprou. Gostaria de saber se posso ir vê-lo pessoalmente. JCA (Belo Horizonte - MG)

A vantagem do Muse™ em relação ao TOBii¹⁰⁶ (Figura 63) é que no Muse™ a detecção do piscar de olhos é precisa, visto que sua detecção é direta entre cérebro e computador e não necessita de outro suporte, como no TOBii, que requer um Tracker que capta movimentos e "costuma perder os olhos dela". No entanto, mesmo assim, a expectativa evidente de Porthos e sua família é a interação da ICC MuseKey através de ondas dos canais de distração e concentração, pois futuramente sua mãe não conseguirá nem mesmo piscar os olhos. Isto requer tempo que excedeu a entrega deste relatório de pesquisa, visto que exige frequentes tentativas do usuário em controlar sinais e ondas cerebrais, como concentrar-se, distrair-se, pensar em situações diferentes e visualizar quais dessas tentativas produzem mudanças nos visualizadores do EEG. Quando o sujeito detecta mudanças, então procura repetir até que aprenda a ter cada vez mais rapidamente o controle daquele tipo do sinal ou onda, criando mudanças neuroplásticas, e isso pode levar meses.

FIGURA 63: Tobii Eyetracking

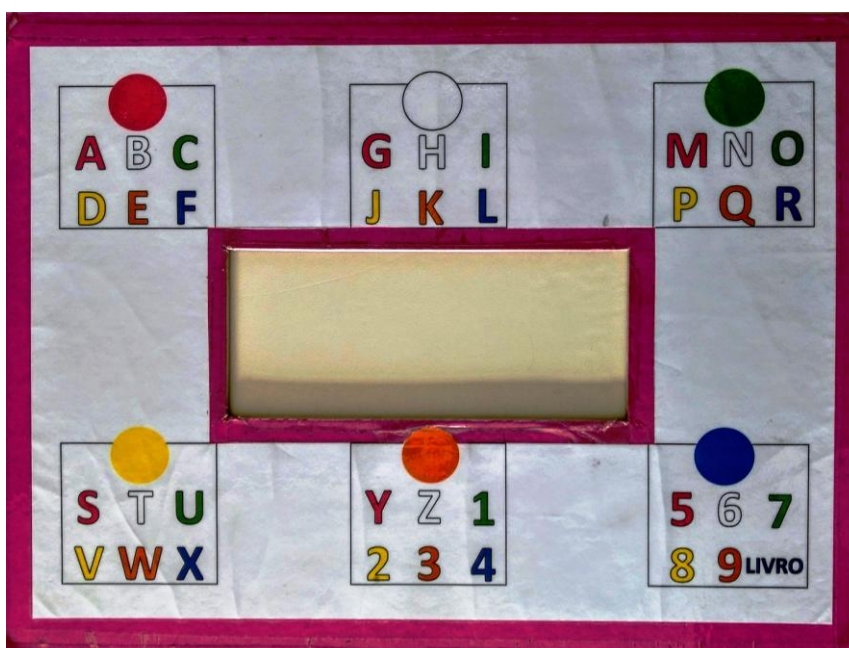


Fonte: Tobii Eye Tracker 4C

¹⁰⁶ Equipamento de Rastreamento ocular. Um dispositivo de câmera que torna o computador equipado com um rastreador ocular, assim ele "sabe" o que um usuário está olhando. Isso possibilita que os usuários interajam, por exemplo, com computadores usando os olhos.

Entretanto, Porthos e sua família trabalham com a paciente no exercício de controlar sinais e ondas cerebrais, tendo como suporte de *feedback* visual o Muselab (Figura 40), e continua-se no desenvolvimento e aprimoramento da ICC MuseKey para mãe de Porthos. Contudo, não será utilizado para ela o teclado MuseKey, mas a ICC MuseKey irá interagir com a virtualização e automatização do quadro de letras (Figura 64) que a paciente já está habituada, que contará com o sistema de varredura e feedback visual e sonoro.

FIGURA 64: Quadro de Letras de M.



Fonte: Arquivo do Sujeito 1

6.4.2 Sujeito 2: Aramis

O Sujeito 2, apresentado como Aramis, possui muitas limitações motoras, sendo totalmente dependente de outras pessoas para os atos comuns da vida diária. Possui poucos movimentos das mãos que o permite mover o mouse. Logo nos primeiros anos escolares escrevia com dificuldade, mas com avanço da doença sua limitação aumentou. Para escrever utiliza unicamente o computador através de teclados virtuais, sobretudo o Mousekey (DUSIK, 2013). Para operar o computador faz uso de minimouse. Não utiliza comandos de voz porque sua fala é fraca, gerando altas margens de erros de comandos. Os dispositivos de captura de movimentos da cabeça por Webcam ou acelerômetros não lhe favorecem, visto possuir pouco

controle cervical. Quanto ao movimento dos olhos, há falhas na captura da íris em razão do elevado grau de lentes dos óculos para acentuada miopia. Assim, como lhe restam sutis movimentos das mãos, o sujeito utiliza exclusivamente o minimouse óptico, configurado na velocidade máxima do ponteiro, que lhe permite percorrer por toda a tela com a seta do mouse.

Suas expectativas em relação à escrita é produzir textos de estudos, tanto do doutorado quanto de sua segunda graduação, que iniciou em 2018 o curso de bacharelado em Administração Pública pela UNIPAMPA. Além disso, utiliza a escrita no trabalho, construindo projetos pedagógicos, correspondências oficiais, resoluções e pareceres. Sobretudo, a expectativa da escrita via ICC é manter a comunicação quando o progresso de sua doença lhe deixar em estado de Síndrome do Encarceramento ou condição semelhante.

Após uma insuficiência respiratória, Aramis foi traqueostomizado e conectado à ventilação mecânica invasiva e outros monitores biomédicos. Como resultado ficou sem fala e a posição de acamado não lhe permitia movimentar as mãos para escrever com suas tecnologias habituais.

Sem fala e sem escrita, Aramis não conseguia comunicar o que sentia ou precisava. Com muito esforço sua mãe entendia pelo olhar e pelos movimentos dos lábios necessidades e frases que já eram habituais, como "vire minha perna", "ajeite minha cabeça", "te amo mãe". Mas ficava incompreendido em necessidades mais complexas e não habituais.

Sua mãe lhe acompanhou em todo o tempo de hospitalização e, para Aramis lhe chamar atenção, descobriu um estalar da língua no céu da boca, que emitia um som ("tac tac"). Com isso sua mãe se aproximava e procurava lhe entender.

D'Artagnan, colega e amigo de Aramis, soube da situação clínica do Amigo. Preparou o sistema de Interface Cérebro Computador que estavam desenvolvendo e levou onde ele estava: na Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) do Hospital São Camilo, em Esteio. Aramis pode se comunicar por meio de ondas cerebrais!

Após alguns ajustes, Aramis escreveu com a ICC MuseKey e Teclado Virtual do Windows aos que acompanhavam e à equipe de enfermagem que, curiosa, se reuniu em torno do leito: "*Oi! Bom dia!*". E todos se surpreenderam.

IMAGEM 2¹⁰⁷: Sujeito 2 fazendo uso da ICC MuseKey



Fonte: Arquivo do Sujeito 1

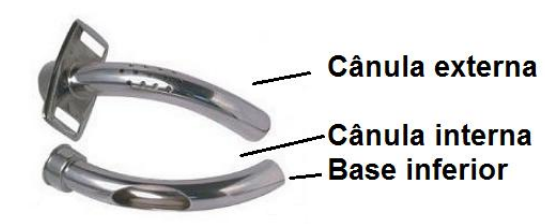
Como se vê na imagem, diferente de outros dispositivos portáteis de EEG apresentados, o Muse™ possibilitou seu uso com o sujeito deitado, sem haver desconforto de eletrodos atrás da cabeça pressionado contra o travesseiro. Dentro do limite de uma UTI, a visão do computador foi ajustada de improviso com almofada e panos.

Logo em seguida precisou fazer procedimentos clínicos de rotina da UTI. Mas, à tarde, ao utilizar-se novamente da ICC escreveu o que mais lhe incomodava a dias:

- *"Diga à médica que a base inferior da curva da cânula interna da traqueo está pressionando minha traqueia, causando muita dor. Pede uma cânula menor".*

O recado foi dado à médica e esta lhe disse que no hospital não havia cânula menor. Mas a médica fez ajustes de posição que diminuiu o pressionamento e, conseqüentemente, a dor.

FIGURA 65: Cânula para Traqueostomia



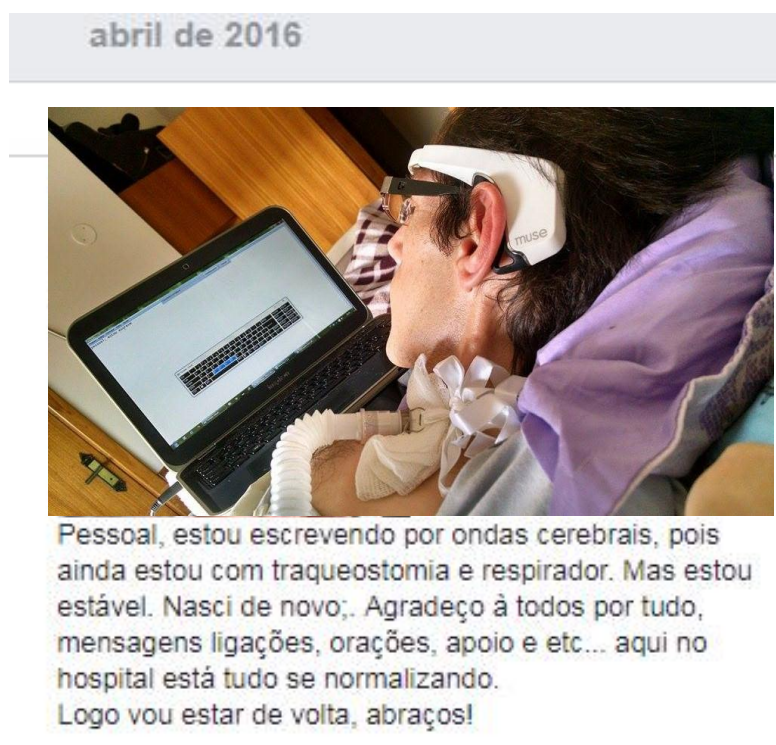
Fonte: Próprio Autor

¹⁰⁷ Uso de Imagem autorizada pelo sujeito ao autor da tese. :D

Em outra situação, Aramis tentava sussurrar "xixi". Sua mãe quase entendia, mas acreditava não ser isto, já que Aramis estava com sonda urinária. O mesmo desentendimento ocorria com as pessoas da enfermagem, que tentavam entender coisas diferentes. Então, com a ICC, escreveu¹⁰⁸: "*dor bexiga, vontade xixi*". Foram verificar e a sonda estava fechada. A fisioterapeuta havia fechado durante os procedimentos e esqueceu-se de abrir.

Depois de alguns dias, Aramis quis escrever aos seus amigos através de redes sociais:

IMAGEM 3: Postagem em redes sociais



Fonte: Facebook, captura de tela.

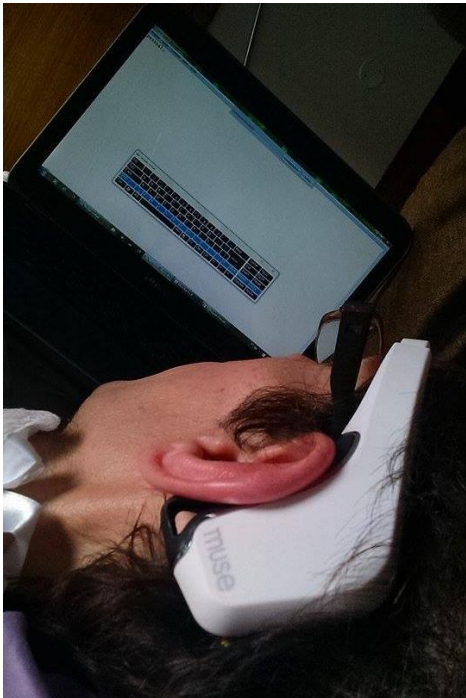
Após alguns dias, vendo suas imagens e sua situação, comparando-se no tempo entre seu estado atual e sua vida anterior, cheia de atividades, sentiu-se diante de uma ambivalência afetiva: ao mesmo tempo em que se sentia frágil e vulnerável, sentia-se esperançoso e capaz de recuperar-se. Então, arriscando-se em um texto mais longo, compartilhou:

¹⁰⁸ O sujeito, por vezes, poupava-se de escrever preposições e conectores frasais que não fariam falta no entendimento da mensagem.

IMAGEM 4: Postagem em redes sociais

4 DE MAIO

 Cláudio Luciano Dusik I atualizou o status dele.



Pessoal, minha saúde está estável, mas ainda hospitalizado em "semi-UTI"... Há quem não acredita em nada e até os que duvidam da fé... mas em Deus sei que me recuperarei e voltarei!
Estou como essa mensagem:
A águia é a ave que possui a maior longevidade da espécie. Chega a viver 70 anos. Mas, para chegar a essa idade, aos 40 anos ela tem que tomar uma séria e difícil decisão. Aos 40 anos está com as unhas compridas e flexíveis, não consegue mais agarrar as suas presas das quais se alimenta. O bico alongado e pontiagudo se curva. Apontando contra o peito estão as asas, envelhecidas e pesadas em função da grossura das penas, e voar já é tão difícil! Então, a águia só tem duas alternativas: morrer... ou... enfrentar um dolorido processo que irá durar 150 dias. Esse processo consiste em voar para o alto de uma montanha e se recolher em um ninho próximo a um paredão onde ela não necessite voar. Então, após encontrar esse lugar, a águia começa a bater com o bico em uma parede até conseguir arrancá-lo, sem contar a dor que irá ter que suportar. Após arrancá-lo, espera nascer um novo bico, com o qual vai depois arrancar as suas velhas unhas. Quando as novas unhas começam a nascer, ela passa a arrancar as velhas penas. E só após cinco meses sai para o famoso voo de renovação e para viver então mais 30 anos.

Fonte: Facebook, captura de tela.

A margem de erros na digitação foi praticamente irrelevante e, quando acontecia dava-se em duas situações:

a) na primeira letra de um grupo, pois requer toque imediato ao selecionar o grupo. Com isso, no atraso do toque digitava-se a segunda letra ao invés da primeira. Para que isso não ocorresse, era preciso aguardar a segunda volta da varredura.

FIGURA 66: Grupo de letras no modo Rastrear Teclas



Fonte: Próprio Autor, captura de tela.

b) na perda do tempo correto de piscar os olhos. Isso ocorria em textos longos, que causava desvio da concentração por fatores de estímulos externos

ambientais ou por fatores internos, como o desvio da atenção para o pensamento de lembranças ou do próprio planejamento da escrita, tanto de conteúdo como da próxima letra. Mas não se tratava de interferência na ICC, e sim de mera distração por cansaço cognitivo.

Na época da hospitalização o teclado da ICC MuseKey não estava desenvolvido e Aramis utilizava a ICC com o teclado virtual do Windows. Após o desenvolvimento do Teclado MuseKey, Aramis reveza as interações conforme a tarefa, da seguinte forma:

- ICC MuseKey com o teclado virtual do Windows: em textos curtos ou curtos e longos que requerem acentuações corretas, já que o Teclado MuseKey apresenta falhas nesses caracteres.
- ICC MuseKey com o Teclado MuseKey: em textos curtos ou curtos e longos que não requerem acentuações corretas, já que o Teclado MuseKey apresenta economia de tempo nos toques (no piscar), uma vez que tem sílabas, letras agrupadas.

Para escrever "MUSE", a quantidade de toques (piscar) se dá na seguinte quantidade:

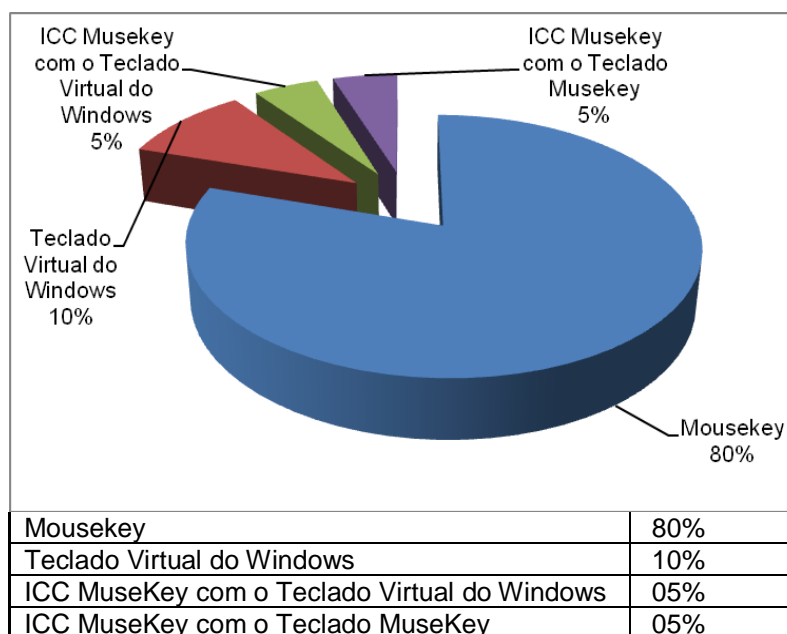
TABELA 21: Quantidade de Toques (Piscar)

ICC MuseKey com o teclado virtual do Windows	8 toques (piscar)	1 para selecionar o grupo que está a letra M; 1 para selecionar a letra M; 1 para selecionar o grupo que está a letra U; 1 para selecionar a letra U; 1 para selecionar o grupo que está a letra S; 1 para selecionar a letra S; 1 para selecionar o grupo que está a letra E; 1 para selecionar a letra E.
ICC MuseKey com o Teclado MuseKey	4 toques (piscar)	1 para selecionar o grupo que está a letra M; 1 para selecionar a sílaba MU; 1 para selecionar o grupo que está a letra S; 1 para selecionar a sílaba SE.

Fonte: Próprio Autor.

Isso representa uma economia de tempo e toques (piscar) de 50%.

A maior parte desta tese foi digitada com diferentes recursos de tecnologia assistiva, conforme o estado físico de Aramis (sujeito-autor da pesquisa). Demonstra-se o uso a seguir, em dados aproximados:

GRÁFICO 3: Tecnologia Assistiva para Digitação do Sujeito 2

Fonte: Próprio Autor.

Aramis não utiliza a ICC quando a agilidade é o fator preponderante e quando sente capacidade de usar o minimouse. A ICC é utilizada por Aramis quando tornar a escrita POSSÍVEL prepondera fatores como tempo, agilidade e normas ortográficas e gramaticais.

6.4.3 Sujeito 3: Athos

Aramis foi visitar Athos em sua casa, em um fim de tarde, com a finalidade de testar a ICC MuseKey, conforme combinação anterior com a família. Ao chegar, Milady, a esposa de Athos, mostrou diferentes aparatos que estavam exercitando com ele para desenvolver uma comunicação alternativa. Dentre esses se encontravam cartões e pranchas de letras e de figuras.

Disse a Aramis que percebe pelo olhar de Athos quando está triste, com dor ou quando quer tentar pedir algo. Disse que buscam que com os aparatos ele possa comunicar-se com o piscar de olhos, mas que ainda não havia uma eficácia. Inicialmente pensava-se que a ineficiência poderia ser atribuída à falta de compreensão de Athos aos cartões e pranchas ou ao método de apontamento, mas após a testagem com a ICC MuseKey foi possível inferir que a atribuição da

ineficiência pode estar associada a um bradipsiquismo¹⁰⁹ e lentidão motora de globo e de foco ocular.

Essa inferência foi logo pensada por Aramis ao aproximarem-se de Athos, que estava na sala e direcionado para televisão, em uma maca semideitada. Na aproximação, Milady pergunta a Athos:

- *Amor, lembra-se do seu amigo Aramis? Ele está aqui!*

Após cerca de três segundos é que Athos começa a direcionar muito lentamente seu olhar para Milady, que se encontrava em pé em sua frente, levemente à esquerda. Quando a encontrou com o movimento ocular é que suas pupilas pareceram buscar o foco.

Enquanto ele demorava-se para lhe focar fisicamente a atenção, Milady repetia a mensagem como se ele não estivesse ouvindo e entendendo. Essa repetição de mensagens, para pessoas naquele estado, pode fazer com que o cérebro tenha que reiniciar toda uma sequência de atividades mentais variadas. Isso pode ser evitado se após a mensagem houver um maior aguardo de resposta.

Então Aramis assim procedeu, disse apenas uma vez "*Oi Athos!*", e o aguardou. Da mesma maneira, somente após alguns segundos é que Athos começa a lentamente lhe direcionar o olhar, à direita, e buscar o foco.

Em tese, essa repetição ou mudanças de mensagens almejando respostas imediatas, sem aguardo do tempo necessário, poderia estar contribuindo com que acontecesse o que Milady relata:

- Quando se pede para ele piscar se estiver entendendo, ora ele pisca imediatamente, ora demora e ora não pisca. Isso faz com que muitos acreditem que o movimento ocular dele e o piscar de olhos sejam involuntários, e que ele está vegetativo, sem compreensão. Mas ele compreende sim.

Milady explica para Athos que Aramis estava ali para fazer uma experiência para ele poder se comunicar, através do cérebro e do computador, e que se tudo desse certo, ele poderia dizer o que quer. Ela se abraçou em Athos e carinhosamente continuou dizendo que ele iria poder dizer o que sente, expressar em palavras suas emoções e até escrever um livro. Athos chorou.

Aguardamos Athos se acalmar e iniciamos os testes.

Colocou-se o dispositivo nele, Aramis explicou os procedimentos e pediu

¹⁰⁹ Lentificação de todas as atividades mentais, muito comum em estados depressivos, nos quais a passagem do tempo é percebida de modo lento e vagaroso.

que ele piscasse quando chegasse à letra desejada. Precisou fazer diversos ajustes para que a tela do computador ficasse em seu campo de visão. De forma improvisada, adaptou-se em uma cadeira em cima de uma pequena mesa de centro, para ficar bem elevado, já que na posição de semideitado seu campo de visão é para cima, em 45°.

O sistema digitava letras sem sentidos de palavras.

Aramis experimentou exercícios de piscar sem o equipamento, pedindo-lhe que piscasse cada vez que dissesse "*pisque!*". Visivelmente tanto o piscar de olhos que pudesse ser voluntário, quanto o piscar lubrificador, eram lentos e dificultava distinguir entre um e outro.

Tentou-se novamente com o Muse™ e Teclado MuseKey, mas o teclado digitava letras sem sentidos de palavras. Como D'Artagnan não estava junto para auxiliar na reprogramação das configurações, que fugiam aos padrões programados, Aramis precisou deixar o Teclado MuseKey e realizar a experiência somente com o *feedback* da ICC MuseKey. A ICC identificava o piscar voluntário e distinguia do piscar reflexo, mas para fortalecer a comprovação Aramis solicitou exercícios por agrupamento e sequenciação.

Na sequenciação pediu-se, então, que Athos piscasse duas vezes. O computador identificou dois sinais cerebrais do desejo de piscar, embora tenha piscado uma vez. Pediu-se que piscasse três vezes e o computador identificou três sinais, embora tenha piscado quatro vezes. Pediu-se que piscasse quatro vezes e o computador identificou quatro sinais, e foram piscadas quatro vezes.

No exercício de agrupamento pediu-se que piscasse duas vezes, aguardasse, piscasse uma vez, aguardasse, piscasse duas vezes e aguardasse, e o computador identificou os sinais correspondentes: 2-0-1-0-2-0. Por conseguinte, solicitou-lhe que piscasse duas vezes, aguardasse, piscasse três vezes, aguardasse, piscasse duas vezes e aguardasse, e o computador identificou os sinais correspondentes: 2-0-3-0-2-0.

Ficou evidente a captura do sinal cerebral, e que ocorria independente do movimento das pálpebras.

Aramis propôs que iria soletrar o alfabeto e, quando Athos ouvisse a letra desejada, deveria piscar. Pediu que uma familiar prestasse atenção aos olhos de Athos e que anotasse as letras escolhidas. Entretanto, Aramis e Milady não monitoravam os olhos de Athos, mas sim a ICC. Iniciou a soletração na sequência

alfabética, com pausa de oito segundos entre as letras. Para não confundir o pensamento de Athos, que já estava em bradipsiquismo, quando Aramis percebia a escolha da letra apenas anotava e dava sequência na soletração. Quando chegava em Z reiniciava em A, repetindo o ciclo duas vezes. Enquanto nas anotações de sua familiar surgiram letras aleatórias, nas dos que monitoravam a ICC ficou evidente a palavra AMOR.

Com isso comprovou-se que ele entendia e que, apesar de haver um retardo da resposta motora para piscar, a ICC conseguia captar o sinal cerebral. Comprovou-se que Athos continua consciente, percebendo tudo o que acontece à sua volta e a sua memória continua intacta.

Para esse momento levaram-se algumas horas, e tanto Aramis quanto Athos precisavam descansar e interromper a testagem, embora não fosse o desejo de Milady. Aramis então esclareceu que as expectativas precisam ser muito cautelosas, pois o sistema é só um facilitador, que será preciso muito treino antes e após o sistema estar pronto. Aramis recomendou:

Há um exercício fundamental para o êxito da utilização desse e de outros meios de comunicação e que é preciso fazer ao menos cinco minutos, três vezes ao dia: ele precisa treinar muito o piscar no momento certo. Comecem assim:

1) mostre a mão aberta e diga: "*quando eu fechar a mão tu pisca*". Faça algumas vezes, começando devagar e aumentando a velocidade. O piscar dele precisa ser quase imediato ao fechar da mão. Exercite para haver neuroplasticidade.

2) Quando perceber que ele está mais ágil, aumente a complexidade da tarefa mostrando as duas mãos. Enquanto uma abre a outra fecha, enquanto uma abre a outra fecha. Fique fazendo em sequência sem interromper. Daí tu diz: "*sempre que a mão esquerda fechar tu pisca*". Tu podes começar devagar e aumentar a velocidade. Pode fazer como um jogo, em que cada acerto de piscar no momento certo ele ganha um ponto.

Sem esses exercícios de forma intensa e contínua ele não conseguirá escrever no sistema de forma eficiente. Também sei que é frustrante ter que fazer exercícios enquanto se esperava que fosse só colocar o dispositivo e usar, mas é um sistema novo e experimental, e nesses experimentos os exercícios tem sido quase que um critério.

Além dessas recomendações, Aramis sugeriu buscarem uma avaliação neuropsiquiátrica. Alguns dias depois, Milady informou que buscou essa avaliação e foi indicado a Athos o uso de dois tipos de antidepressivos.

Apresentadas as avaliações com os sujeitos, segue- com a descrição da avaliação funcional da ferramenta.

6.5 CATEGORIA 2: AVALIAÇÃO FUNCIONAL DA FERRAMENTA

Para apresentar os resultados da avaliação funcional do MuseKey, foram subdivididas categorias¹¹⁰, como demonstra a Tabela 22:

TABELA 22: Avaliação funcional do MuseKey

CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS			
FUNCIONALIDADE	Adequação	Acurácia	Interoperabilidade	Segurança de acesso
CONFIABILIDADE	Maturidade	Tolerância a falhas	Recuperabilidade	
USABILIDADE	Inteligibilidade	Apreensibilidade	Operacionalidade	Atratividade
EFICIÊNCIA	Comportamento x tempo	Utilização de recursos		
MANUTENIBILIDADE	Analisabilidade	Modificabilidade	Estabilidade	Testabilidade
PORTABILIDADE	Adaptabilidade	Instalação	Coexistência	Substituição
ACESSIBILIDADE	Perceptível	Operável	Compreensível	Robusto

Fonte: Próprio Autor

A seguir descrevem-se os dados e análises das categorias e subcategorias:

6.5.1 Funcionalidade

O MuseKey ofereceu funções que atendiam às necessidades de escrita de um dos participantes da pesquisa (Aramis) e trabalha-se no sentido de atender as de Porthos e Athos.

Quanto aos critérios desta qualidade de software descrevem-se:

a) Adequação: a ICC MuseKey permite ajustar a amplitude do neurossinal (sensibilidade ao piscar) e intervalos entre frequências de amplitudes próximas. O Teclado MuseKey permite ajustar o tamanho do layout; a posição do teclado na tela; o tempo e tentativas de rastreo e, assim, proveu funções para se adequar as tarefas e objetivos do usuário especificado. Dentre elas, ainda, os modos de digitação possibilitaram a adequação do aplicativo às diferentes necessidades, como o modo Clicar foi adequado quando Aramis sentia condições de uso do mouse e o modo Rastrear quando se sentia fadigado na tarefa motora.

b) Acurácia: os botões do aplicativo cumpriram corretamente a função

¹¹⁰ Com base na NBR ISO/IEC 9126-1:2003 e em WCAG/W3C..

esperada, e os textos digitados e as respostas pelo participante Aramis foram resultados concretos de que o produto de software atende sua função, de possibilitar a escrita de pessoas com limitações motoras. No entanto, evidenciou-se que a Acurácia depende da correta posição dos eletrodos pelo ajuste apropriado do Muse™ à cabeça do usuário, o que não ocorreu com Porthos.

c) Interoperabilidade: na fase de testes o MuseKey não evidenciou problemas em interagir com outros aplicativos, como editores de textos, navegadores ou teclados virtuais diversos.

d) Segurança de acesso: há resgate apropriado de informações de configurações e dicionário, mas em demais dados não se aplica, pois o MuseKey não possui banco de informações e dados de armazenamento. A segurança de acesso da produção textual dos usuários irá depender do editor de texto e do local de armazenamento de arquivos.

6.5.2 Confiabilidade

O MuseKey não demonstrou dificuldades em manter um nível de desempenho adequado, mesmo quando usado em condições de múltiplas tarefas. No entanto, isto pode ocorrer caso o nível de bateria esteja extremamente baixa. Apresenta-se a mensuração dos critérios desta qualidade de software.

a) Maturidade: A codificação do aplicativo possui instruções de evitar falhas decorrentes de defeitos no software, como as instruções "try", "if", "else", entre outras.

FIGURA 67: Instruções de evitar falhas no MuseKey

```
try {
    if (!conectado) {
        if (Mac) {
            Runtime.getRuntime().exec(new String[]{"open", "/Applications/Muse/muse-io"}); // re
        } else if (Win) {
            Runtime.getRuntime().exec(new String[]{"cmd.exe", "/c", "start", "muse-io", "--devic
        } else {
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Sistema Não identificado", "Erro!", JOptionPane
        }

        jLabel2.setForeground(Color.blue);
        jLabel2.setText("Aguardando Conexão com o Muse");
    } else {
        setDesconectado();
        desconectarMuse();
    }
} catch (IOException ex) {
    Logger.getLogger(MuseKeyFrame.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
```

Fonte: Próprio Autor

b) Tolerância a falhas: em casos de defeitos no software ou de violação de sua interface, o software inclui diversas instruções de prevenção a falhas, tanto no código da programação quanto na interface, escondendo e desabilitando recursos conforme a opção do usuário.

FIGURA 68: Tolerância a falhas no MuseKey

```
try (FileWriter file = new FileWriter("config.json")) {
    file.write(obj.toJSONString());
    file.flush();
} catch (IOException e) {
    JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro ao salvar o arquivo", "Erro Savar", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
}
```

Fonte: Próprio Autor

c) Recuperabilidade: A produção textual dos usuários não é armazenada no próprio aplicativo, mas em arquivos de editores de texto. Em qualquer caso de falha crítica do aplicativo, a ICC precisa ser reaberta.

6.5.3 Usabilidade

A ICC mostrou dificuldade inicial de ser aprendido apenas para o participante da pesquisa Athos, que não possuía conhecimentos prévios do sistema de varredura de letras e necessita treinos acerca do tempo em piscar, ou seja, no momento correto. Pode haver dificuldades no pareamento Bluetooth. Para aqueles que possuíam conhecimentos básicos de informática, o MuseKey mostrou-se fácil de ser compreendido, aprendido e operado. A seguir mensuram-se os critérios desta qualidade de software.

a) Inteligibilidade: Para tornar o MuseKey inteligível, sua interface seguiu o padrão de aplicativos para Windows, ou seja, em janelas, com botões que possuem ícones e gráficos intuitivos. A disposição das teclas de digitação seguiu a ordem conhecida: QWERTY.

b) Apreensibilidade: Quanto às funções, todas elas são mantidas em uma mesma janela. Quanto aos botões de digitação, as sílabas correspondentes na mesma sequência vocálica, com exceção das vogais acentuadas, que possuem idiosincrasias. A testagem mostrou que a apreensão aumenta com o uso, aprimorando a produção textual em menor tempo e menos cliques.

c) Operacionalidade: O MuseKey evidenciou impossibilidade do usuário Porthos em operá-lo e controlá-lo até que encontrasse a correta interpretação do sinal, que não era o de piscar de olhos, pela incorreta posição dos eletrodos.

d) Atratividade: O projeto gráfico buscou adequações nos atributos de tamanho, fonte e cores, com a intenção de tornar o software mais atraente para o usuário. Mas a principal atratividade foi a da possibilidade de escrever utilizando um dispositivo EEG.

6.5.4 Eficiência

O software não apresentou evidências de desempenho inapropriado significativo, relativo à quantidade de recursos usados, mesmo sob condições de diversos aplicativos em multitarefas. Algumas acentuações requerem ajustes para adequar-se a diferentes sistemas operacionais. A seguir mensuram-se os critérios desta qualidade de software.

a) Comportamento em relação ao tempo: o MuseKey evidenciou capacidade de fornecer tempo de respostas imediata e taxas de transferência apropriadas a necessidade dos usuários. No entanto, mostrou alguns atrasos na abertura dos grupos silábicos.

b) Utilização de recursos: O software evidenciou possibilidade de usar tipos e quantidades apropriados de recursos de TA, quando o software executa suas funções.

6.5.5 Manutencibilidade

O desenvolvimento do MuseKey permite que programadores realizem modificações para incluir correções, melhorias ou adaptações do software, desde que respeitados os direitos autorais. A seguir mensuram-se os critérios desta qualidade de software.

a) Analisabilidade: a Linguagem e estilo de programação são padronizados (Java), é compatível com o suporte do fabricante do Muse™ e isso contribui para a sua inteligibilidade, conseqüentemente, para a facilidade na manutencibilidade.

b) Modificabilidade: Idealmente a manutenção deveria ser realizada pelo desenvolvedor. Se tal não for possível, o domínio da aplicação é conhecido e pode ser facilmente compreendido e definido por um programador. Para tanto, precisará dos pacotes e bibliotecas apropriadas. Portanto, o software foi desenvolvido para permitir que uma modificação especificada seja implementada.

c) Estabilidade: não se testaram nesta fase procedimentos para evitar efeitos inesperados decorrentes de modificações no software.

d) Testabilidade: na codificação, há comandos com procedimentos de prevenção de defeitos, assim, o MuseKey não é um aplicativo sem falhas, mas tolerante a elas. Por isso, pode haver dificuldades de testabilidade se a equipe de testadores não inteirar-se do projeto.

6.5.6 Portabilidade

O MuseKey pode ser aplicado em diferentes ambientes de sistemas operacionais (Windows, Mac e Unix). A seguir mensuram-se os critérios desta qualidade de software.

a) Adaptabilidade: não houve evidências de impossibilidade para o MuseKey ser adaptado para diferentes sistemas operacionais. No entanto, algumas acentuações requerem ajustes de programação para adequar-se aos diferentes sistemas operacionais.

b) Capacidade para ser instalado: Não se desenvolveu instalador e não realizou testes de ser instalado pelo usuário final.

c) Coexistência: O MouseKey não evidenciou impossibilidade de coexistir com outras versões do Mousekey ou de demais Teclados Virtuais, em um ambiente comum, compartilhando recursos comuns. Entretanto, não foi possível coexistir a mesma conexão Bluetooth para duas ICC concomitantes.

d) Capacidade para substituir: o MuseKey não foi projetado para impedir substituição de outras versões ou requerer a desinstalação de uma versão para instalar outra. Diferentes versões podem coexistir ou ser substituída, conforme interesse do usuário.

6.5.7 Acessibilidade

Realizou-se uma análise dos recursos e da interface do Teclado Musekey com base nas recomendações do WCAG 2.01. A seguir mensuram-se os quatro princípios desta qualidade de software (Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto).

a) Perceptível: A Tabela 23 apresenta dados que evidenciam que o MuseKey atende às quatro recomendações do princípio perceptível.

TABELA 23: Análise do Princípio Perceptível

Recomendações	Análise
<i>Fornecer Alternativas textuais para qualquer conteúdo não textual</i>	Todos os controles, botões e ícones apresentam etiquetas conforme sua finalidade.
<i>Alternativas para mídias baseadas no tempo</i>	O MuseKey não possui áudios, animações ou vídeos. Há iluminação de foco do modo de digitação Rastrear.
<i>Adaptável</i>	Os modos de digitação são adaptáveis nas opções Clicar, e Rastrear (varredura). Permite ajustar a amplitude do neurossinal (sensibilidade ao piscar) e intervalos entre frequências de amplitudes próximas. O Teclado MuseKey permite ajustar o tamanho do layout; a posição do teclado na tela; o tempo e tentativas de rastreio.
<i>Discernível</i>	Os tons de cinza foram usadas para discernir entre botões de digitação e botões de função. Cores e contrastes também contribuíram para a separação do primeiro e segundo plano e do plano de fundo. Espaçamentos e proximidades foram utilizados como forma agrupar botões por resultados aproximados.

Fonte: Próprio Autor

b) Operável: O MuseKey atende às quatro recomendações do princípio Operável, conforme dados apresentados na Tabela 24.

TABELA 24: Análise do Princípio Operável

Recomendações	Análise
<i>Funcionalidades disponíveis no teclado</i>	O aplicativo serve para substituir Funcionalidades disponíveis no teclado, mas como qualquer aplicativo, responde às teclas de funções do sistema operacional.
<i>Tempo suficiente</i>	Os recursos de digitação possuem limites de tempo ajustáveis às necessidades dos usuários.
<i>Ataques epiléticos</i>	O MuseKey não possui luzes intermitentes (tipo flash), luzes intermitentes ou outro tipo de conteúdo que possa provocar Epilepsia Fotosensitiva.
<i>Navegar, localizar conteúdos e determinar onde se encontram</i>	Com exceção da janela de configurações, no uso do MuseKey não há troca de contexto. Ao abrir os grupos de sílabas o layout mantém o mesmo design de fundo.

Fonte: Próprio Autor

c) Compreensível: a Tabela 25 apresenta dados que evidenciam que o MuseKey atende às recomendações do princípio Compreensível.

TABELA 25: Análise do Princípio Compreensível

Recomendações	Análise
<i>Texto legível e compreensível</i>	Os textos e abreviaturas no aplicativo são compatíveis com conhecimentos básicos de informática.
<i>Previsível</i>	Os botões mostraram-se intuitivos para a maioria dos sujeitos da pesquisa e todas funcionalidades são identificadas de forma consistente.
<i>Ajudar os usuários a evitar e corrigir erros</i>	Está disponível ajuda contextualizada. Etiquetas ou instruções são fornecidas para evitar erros do usuário. Digitações erradas são reversíveis, podendo ser corrigidas.

Fonte: Próprio Autor

d) Robusto: a recomendação do princípio Robustez mostra-se atendida no MuseKey para o público-alvo. A Tabela 26 apresenta dados deste princípio.

TABELA 26: Análise do Princípio Robusto

Recomendações	Análise
<i>Maximizar a compatibilidade entre tecnologias assistivas</i>	O MuseKey não evidenciou incompatibilidade com simuladores de mouse e acionadores, tanto com emulações via hardware, software ou ambos. Não houve teste com leitores de tela.

Fonte: Próprio Autor

6.6 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO OPERACIONAL DO USUÁRIO E FUNCIONAL DA FERRAMENTA: a interação entre ICC e sujeitos

A partir dos dados demonstrados foi possível perceber que possibilitar foi o verbo mais importante que o MuseKey pode favorecer aos seus usuários em relação à comunicação. Permitir a escrita, mesmo com o "desligamento" entre cérebro e corpo físico¹¹¹, foi fator fundamental citado pelos participantes da pesquisa, não apenas pela questão de produtividade de artefatos da cultura¹¹², mas pela manutenção da integridade física, como nos casos de identificar a dor e o desconforto, como ocorreu no caso de Aramis durante sua hospitalização. Além desse exemplo, Milady descreve sua expectativa quando diz a Athos "[...] que se tudo desse certo, ele poderia dizer o que quer [...] que ele iria poder dizer o que

¹¹¹ o corpo metafísico permanece na memória, nos registros corticais, cujas lembranças do que já foi capaz permanecem.

¹¹² como estudar ou participar de redes sociais.

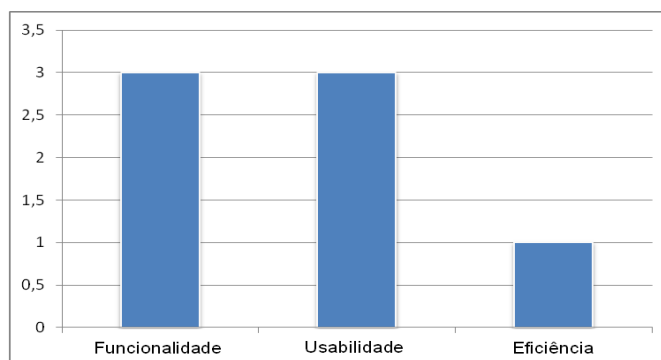
sente".

A expectativa da família foi importante na busca da tecnologia, tanto para antecipar uma futura falta de comunicação (Aramis e mãe de Porthos) como para resgatá-la àqueles que perderam temporária ou definitivamente por incapacidade motora (Aramis e Athos). No entanto, foi possível observar que as expectativas precisam sempre ser mediadas, uma vez que a utilização de uma ICC é um fator complexo que depende de aspectos anatômicos ou cognitivos.

Dentre os fatores anatômicos se observou a questão do posicionamento dos eletrodos por falta de ajustes do Muse™, como ocorreu com Porthos. Já nos fatores cognitivos houve interferência do tempo de aprendizagem da tarefa para Athos, não apenas em relação a um layout ou ao método de varredura, mas aos estados mentais, já que mesmo havendo lucidez o pensamento acontece em três níveis: quanto à produção do pensamento, quanto ao curso do pensamento e quanto ao conteúdo do pensamento. Assim, para esse sujeito se requereu intervenções de uma espécie de reabilitação intelectual quanto ao curso do pensamento, tanto com psicofármaco (antidepressivo) para ajuste do bradipsiquismo, como com exercícios do piscar, que não busca uma mera função motora, mas resgate da atenção, concentração, temporalidade e lateralidade.

Na dimensão da escrita, a preocupação com a agilidade da ação escritora como potencialidade da Interface, na dimensão de favorecer esse processo, se evidenciou apenas em Aramis, que interagiu a ICC MuseKey com diferentes tecnologias para alcançá-la. Para os demais, a agilidade de produção pareceu uma preocupação secundária, preponderando às categorias Funcionalidade e Usabilidade sobre a categoria Eficiência.

GRÁFICO 4: Fatores Externos quanto à potencialidade da ICC



Fonte: Próprio Autor

Os relatos apontaram que, para a busca de soluções para favorecer a

comunicação, os familiares buscam diferentes profissionais e realizam pesquisas autônomas (científicas e noticiárias) para auxiliá-los a encontrar meios de o sujeito executar a tarefa de outra maneira que a habitual, buscando melhorias ou complementações. No caso de Porthos, busca-se associar a ICC MuseKey com o quadro que sua mãe usa e que já estão habituados. Nessas buscas encontram vastas opções de recursos de tecnologia assistiva. No entanto, nem todas se adaptam ao usuário ou às expectativas, evidenciando uma necessidade de constante aumento de criação e desenvolvimento desses recursos, ainda que com diferenças sutis.




O relato de Porthos traz informações pertinentes para se considerar o campo da tecnologia assistiva ainda inacabado, embora vasto de recursos, pois as existentes não possibilitaram para sua mãe a ação de escrever com autonomia. Deve-se haver esmero em desenvolver e aprimorar recursos para tornar reais as expectativas ideais dos sujeitos, como se demonstra no relato do participante Aramis, que utilizava teclados virtuais, desenvolveu o seu próprio (Mousekey-UFRGS), mas em determinados momentos não atendiam completamente suas necessidades e expectativas sem uso complementar de uma ICC.

Evidenciou-se que os menores biomovimentos que um indivíduo em estado de Síndrome do Encarceramento possa ter, podem ser aproveitados para o desenvolvimento de tecnologias que favoreçam indivíduos a executar não apenas interações, como também tarefas socioculturais. Além disso, encontrar a melhor posição e maneira de o sujeito utilizar o recurso, no caso deste estudo o computador, interfere diretamente na produção, tempo e desgaste do sujeito. Neste estudo houve evidências de que com orientação do próprio sujeito, apoio da família ou do cuidador e de recursos comuns, é possível adaptar e improvisar meios de ajustar a tecnologia ao indivíduo e o indivíduo à tecnologia. Travesseiros, pequenas almofadas, cadeira e mesa são exemplos de recursos comuns que serviram de apoio temporário.

Além disso, os dados coletados na pesquisa mostraram, principalmente através de Athos, fragilidade na difusão de conhecimentos em tecnologia assistiva (e das próprias aplicabilidades) para familiares e profissionais da saúde e educação. O campo médico e da saúde precisam atentar não apenas para o prolongamento da vida biológica como também na promoção da qualidade de vida, social e psicológica dos sujeitos.

Os sujeitos da pesquisa relataram diferentes expectativas, como se mostra a seguir:

QUADRO 7: Expectativas sobre a ICC MuseKey

 <p>Porthos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação alternativa; • continuar participando das redes sociais e comunicações digitais; • expressar seus recados e seus sentimentos aos familiares e amigos
 <p>Aramis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação alternativa e aumentativa; • produzir textos de estudos acadêmicos; • trabalhar
 <p>Athos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação alternativa; • dizer o que sente, expressar em palavras suas emoções; • escrever um livro

Fonte: Próprio Autor

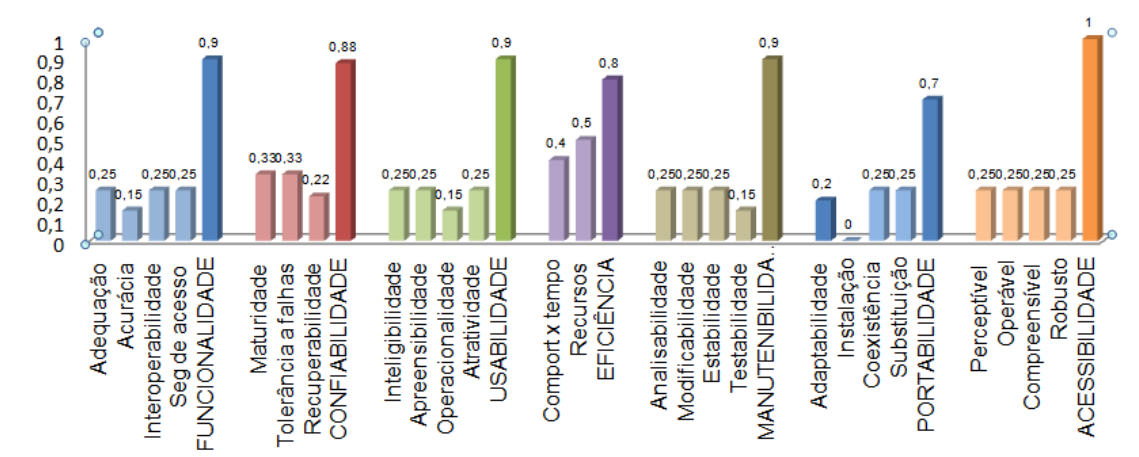
As expectativas de Aramis mostraram desejos de participar da vida em comunidade, mas uma participação que seja produtiva e eficaz, equiparando oportunidades e tarefas, e não uma mera comunicação que desconsidere seu potencial. Mostrou que atividades sociointeracionistas são completas aos sujeitos quando participam das linguagens culturais, falada e escrita.

A produção textual de Aramis, durante sua hospitalização, mostrou que em alguns momentos precisou repensar mensagens desejadas, suprimindo classes gramaticais sem perda do sentido, forçando o sujeito a repensar sua aprendizagem e processo de escrita para economizar-lhe tempo e esforço. Assim, a escrita não se caracterizou uma função meramente mecânica e passou a exigir e desenvolver funções psicológicas superiores. Nesse sentido, a produção escrita estará diretamente ligada à construção escrita, no fazer e no pensar. E, diante disso, como ato intelectual, o uso será melhorado progressivamente.

Quanto aos resultados da avaliação funcional do MuseKey, o gráfico a seguir resume sua qualidade por categoria. Para cada subcategoria, foi dada

medida¹¹³ de 1 (um inteiro) relativa a soma de cada critério atendido.

GRÁFICO 5: Análise funcional do MuseKey



Fonte: Próprio Autor

Nas subcategorias (quesitos) Funcionalidade, Usabilidade e Acessibilidade, o MuseKey evidenciou atender quase plenamente (acima de 90%) atributos de qualidade em uso. Foram fatores fundamentais para isto:

- permitir ajustar a amplitude do neurossinal (sensibilidade ao piscar) e intervalos entre frequências de amplitudes próximas;
- permitir ajustar o tamanho do layout; a posição do teclado na tela;
- permitir ajustar o tempo e tentativas de rastreo e modos de digitação;
- atender os quatro princípios de acessibilidade (Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto).

Como ponto frágil cita-se que a Acurácia depende da correta posição dos eletrodos do MuseTM no sujeito.

Nos quesitos Confiabilidade e Eficiência, atendeu acima 80% dos atributos de qualidade em uso, visto que não demonstrou dificuldades em manter um nível de desempenho adequado, mesmo quando usado em condições de múltiplas tarefas.

O MuseKey cumpre 80% dos atributos de qualidade em uso no quesito Manutencibilidade, permitindo modificações para incluir correções, melhorias ou adaptações do software. No entanto, não é um sistema sem falhas, mas tolerante a elas. Por isso, pode haver dificuldades de testabilidade em situações inesperadas.

¹¹³ Escolha de medidas conforme NBR ISO 9241-11 (p.5).

No quesito Portabilidade não atendeu plenamente os atributos, pois embora o MuseKey possa ser aplicado em diferentes ambientes de sistemas operacionais, não houve evidências de possibilidade de ser instalado pelo usuário final.

De uma forma geral, nos aspectos relevantes para este momento da pesquisa, os dados mostram que o MuseKey pode atender a necessidade de escrita dos participantes em suas expectativas, sendo Funcional, Confiável, Usável e Acessível.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS - *Comunico, logo digo que existo*

Ao longo deste estudo foi possível perceber que a Pessoa com Deficiência esteve sujeita aos vários aspectos do entendimento social diante do seu "estar no mundo", vivenciando diferentes olhares sobre sua condição. Posturas, crenças, estudos e pesquisas foram dando novo significado para vida humana, independente de como ela se apresenta em um conjunto infinito chamado diversidade. Mas viu-se também, que ainda há muito para ressignificar e eliminar dos resquícios históricos de entendimentos mal formulados diante daquilo que é diverso, que é diferente e variado no ser humano, sem com isso desclassificar daquilo que é invariável: *o valor da vida humana*.

Viu-se nesta pesquisa que novos entendimentos buscaram modificar a conduta dos povos e nações. A existência que surgiu de uma estrutura legislativa que trata dos direitos da pessoa com deficiência, deve-se, principalmente, à luta do movimento dessas pessoas, que estiveram continuamente mobilizadas em prol da garantia de seus direitos e dignidade inerente à vida humana. Mas alcançar essa dignidade vai além da qualidade moral que infunde respeito, mas necessita da consciência do próprio valor. Por sua vez, o autovalor surge em decorrência de o sujeito satisfazer suas necessidades humanas e alcançar o necessário aos seus desígnios individuais. Daí decorre do quanto valorável vem a ser área do conhecimento chamada Tecnologia Assistiva (TA), pois trouxe um conjunto de recursos e serviços que contribui para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência para atender seus anseios e necessidades.

Foi possível perceber que a evolução tecnológica caminha na direção de tornar a vida mais fácil. A Acessibilidade Tecnológica é um campo interdisciplinar, no qual todos e cada um representam papéis importantes. Pesquisadores têm se empenhado para promover uma vida mais autônoma e com participação comunitária das pessoas com deficiência, seja através da ampliação de sua comunicação, sua mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho, ou através de auxílio nas atividades da vida diária.

Frente a isso, colocações descritas nesta tese, muito mais do que buscar uma resposta de um problema, ou uma solução para uma atividade social, vieram

convidar¹¹⁴ a uma releitura da definição de deficiência ou incapacidade. Mas acima de tudo, vieram convidar para a reflexão do potencial humano, da força da vida em seus anseios e aspirações, e do quão provisório e imprevisível pode ser o termo impossível.

Cada indivíduo atribui significados diferentes a sua deficiência, e essa significação não é mais entendida apenas pela presença ou não de doenças ou lesões, mas sim pelo grau de preservação da sua capacidade funcional, possibilitando melhor convívio com a deficiência e melhor satisfação na vida. Por isso, pressupor qualidade de vida, depende da avaliação subjetiva do sujeito, que se liga ao impacto do seu estado sobre sua capacidade de viver plenamente, ou viver sem estar enclausurado dentro de si mesmo.

Cabe destacar ainda, que o estilo de vida de uma Pessoa com Deficiência vai se formando ao longo do seu desenvolver como sujeito, tornando-se, muitas vezes, um processo de aprendizagem. Nele estão refletidos os hábitos, costumes, crenças, valores e conhecimento do indivíduo, bem como suas aspirações e esperanças. Levar a pessoa a acreditar que pode ir além, leva-a a ir além, mas levar a pessoa a aprender que não pode ou não precisa, leva-a a sua estagnação. Por isso, a família, a escola e o contexto social do indivíduo irão influir diretamente no quanto um indivíduo aprenderá a lidar com seu potencial, colocando-o a serviço de sua própria superação.

Os recursos de TA favorecem, então, a percepção do indivíduo de sua posição na vida, no aspecto clínico, pessoal, familiar e social. Por isso, pressupor que um sujeito não possa mais ter condições de exercer seu trabalho, de participar de um curso, ou simplesmente isentar de uma atividade comunicativa, está muito longe de ter um foco no valor da vida e do potencial humano, e só vem a contribuir em um aprendizado de uma autoimagem de sujeito que não consegue superar suas limitações. Afinal, são os *desejos de cada um*, e não suas *condições*, que determinam até onde se pode chegar.

Demonstrou-se aqui, que novos entendimentos buscaram modificar uma nova possibilidade entre o pensar e agir, mesmo em casos extremos de neurolesões ou doenças neurológicas. O córtex é o local de representações simbólicas, o que ele

¹¹⁴ Nesse convite excedeu-se em detalhamentos, talvez porque a essência do valor humano ainda esteja sendo lapidada de sua forma bruta. Talvez porque toda essa essência possa ser comparada ao universo com seus corpos celestes, e este estudo a um olhar a partir de uma janela, tentando contemplar toda galáxia e contar todas as estrelas.

recebe é processado e integrado, respondendo com uma ação. É a sede do entendimento, da razão. Se não houvesse córtex não haveria linguagem, percepção, emoção, cognição e memória. Através dele, do cérebro, se produzem correntes elétricas que podem ser captadas na sua superfície, ou mesmo na superfície externa da cabeça. Assim, uma Interface Cérebro Computador estabelece um mecanismo de comunicação direta entre o cérebro e um dispositivo externo, sem perpassar por um corpo, encarcerado, para prover um novo canal de comunicação para pacientes severamente limitados pela perda de todo controle muscular voluntário.

Do ponto de vista da dignidade da vida humana, precisa-se cada vez mais pensar no aumento da expectativa de vida e sobre a vida, buscando resultados das decisões e desejos das PCD de modificarem-se a si mesmo e seu contexto, no sentido de obterem comportamentos mais saudáveis e mais sociais.

É fundamental perceber, e este estudo demonstrou, que é desejo dos sujeitos manterem-se ativos em sua comunicação e, inclusive, nos seus afazeres cotidianos, reduzir ao mínimo o impacto da deficiência nos papéis diários e controlar as emoções relacionadas à deficiência. Não realizar atividades leva o indivíduo à exclusão, seja ela real ou apenas em sua percepção de pertencimento. Assim, dentre os afazeres cotidianos, recortou-se nesta pesquisa a atividade de escrita para delinear a rota destas reflexões. Para isso, contou-se com "D'Artagnan e Os Três Mosqueteiros", que entraram nessa aventura, nessa pesquisa, cada qual com suas expectativas, cada qual com suas necessidades, mas todos em um único alvo: comunicar-se. Uma aventura com espadas de vida, na busca do valor humano.

Escolheu-se essa atividade humana por ser a comunicação como elemento parte de vida social. A sociedade que se vive é também a sociedade da informação. E informação se estende no espaço-tempo pela escrita, como linguagem, como função de comunicação, como interação, como mediação simbólica em uma visão generalizada do mundo. As expectativas dos sujeitos mostraram desejos de participar da vida em comunidade, de maneira produtiva e eficaz, sem barreiras de acesso aos recursos oferecidos pela cultura e pelo seu contexto social.

Nesse sentido, sentiu-se a necessidade de estudos para desenvolver uma Interface Cérebro Computador, o MuseKey, que tivesse foco nos resultados da escrita, mas também no processo, que oferecesse um mínimo de condições para que os indivíduos pudessem desenvolver o máximo de suas potencialidades, sentindo-se comunicativos, produtivos e eficientes. Ao conseguir escrever, o sujeito

tende a encontrar seu próprio valor e terá mais espaços para a vida, através da interação, e resultará também em sua maior inclusão, seja social ou digital, seja escolar ou laboral (no mundo do trabalho).

Diante destas reflexões, e de todas as exposições teóricas e dos resultados da pesquisa, pode-se relatar que é desta maneira que uma Interface Cérebro Computador pode facilitar a comunicação escrita de sujeitos com incapacidade motora grave. Ou seja:

- a) entendendo as necessidades, as indicações, pretensões e expectativas da PCD frente ao ato de escrever, mesmo com incapacidade motora grave, para que a finalidade da TA seja compatível com a expectativa do sujeito/família;
- b) atendendo requisitos de softwares indicados em outros estudos para objetivos similares e suas aplicações em pacientes severamente limitados, que pretende estabelecer um novo canal de comunicação alternativa;
- c) selecionando o dispositivo de EEG para ICC que não submeta o paciente aos riscos de vida, que seja de simples colocação, que favoreça melhor conforto e ajustes dos eletrodos;
- d) realizando ensaios e treinos do controle de envio dos sinais cerebrais promovendo aprendizagem do controle da frequência e mudança de estado mental;
- e) possibilitando ajustes na ICC, para que essa tecnologia assistiva seja o mais eficiente possível frente às necessidades do sujeito;
- f) tornando a Interface adaptável a vários utilizadores diferentes e baseada no estado cognitivo de cada um, em momentos diferentes;
- g) possibilitando a utilização de várias ferramentas e tecnologias que se inter-relacionem para obter o resultado final;
- h) contribuindo na percepção da qualidade de vida e adaptação à deficiência;
- i) incentivando a reconstrução da autoimagem; além de outros componentes afetivos e cognitivos.

É fundamental perceber que conhecer requisitos foi à base para este projeto, definindo o que usuários e desenvolvedores precisam que o sistema faça para satisfazer essa necessidade. Nisto residiu o desafio: capturar a necessidade ou

problema por completo para conduzir a atividade de projeto.

Nos aspectos fundamentais para este momento da pesquisa, os dados mostraram que diversos estudos buscaram verificar e validar ferramentas e aplicações com Interface Cérebro Computador. Destas, foi possível levantar quatro categorias de requisitos: 1) Quanto ao usuário; 2) Quanto ao Processo de Desenvolvimento; 3) Quanto aos fatores internos da qualidade do software; e 4) Quanto aos fatores externos da qualidade do software. Frente a isso, já se aponta a necessidade de continuidade da pesquisa sobre a qualidade do software final.

Assim, percebe-se que cada categoria apresentada foi fundamental para desenvolvimento e aprimoramento do MuseKey. Conforme a severidade da dificuldade motora, a pessoa pode estar com seus movimentos de membros ou face limitados ou impedidos, interferindo em sua comunicação e atividades, mas com essa Interface Cérebro Computador se estabeleceu comunicação por impulsos elétricos entre o cérebro humano e as máquinas eletrônicas. Um dispositivo externo pôde captar sinais elétricos cerebrais para ativar teclados virtuais e o Teclado MuseKey. Assim, por "pensamento", a pessoa pôde escolher a letra ou sílaba desejada.

Quanto à percepção da qualidade de vida e adaptação à deficiência, se evidenciou novas esperanças de trabalhar, de estudar e sentir-se ativo. Resultado disso é a reconstrução da autoimagem, percebendo esperanças de ser capaz de realizar atividades comuns. Quanto aos componentes cognitivos, este estudo apontou uma necessidade de maior aprofundamento para futuras reflexões, uma vez que o MuseKey demonstrou possibilidade de desenvolvimentos neuroplásticos, necessidade de exercícios do pensamento em seus três níveis (produção, curso e conteúdo), demonstrou que a digitação leva a repensar mensagens desejadas e sua forma de escrever (seu aprendizado), podendo-se com isso inferir um desenvolvimento da metacognição e das estruturas mentais superiores. Mas estas conclusões necessitam mais evidências.

Buscando conhecimentos no panorama tecnológico de recursos de EEG, no entendimento de eletrônica para entendimento de sinais neuroelétricos, nos recursos computacionais, na Ergonomia, no Design e no desenvolvimento de software, pôde desenvolver a ICC MuseKey, adaptando-o e ampliando seus recursos.

Ao testar a tecnologia junto à PCD, se percebeu necessidade de ajustes, podendo então afirmar que o aplicativo foi desenvolvido para os sujeitos e com os

sujeitos. Pôde-se, então, considerar a ferramenta desenvolvida, embora inacabada, pois os requisitos especificados foram devidamente atendidos no aplicativo, ou seja, permitiu que pessoas com dificuldades motoras conseguissem escrever, correspondendo aos diferentes tipos de necessidades; o usuário pôde usar recursos concomitantes; pôde ser compreendido, aprendido e operado ao usuário, com conforto e menos fadiga. Enfim, mostrou possibilidades de que pessoas com deficiência não sejam excluídas do convívio social. No caso de Aramis, não seja excluída do sistema geral de ensino e do trabalho.

Nos aspectos mais relevantes para este momento da pesquisa, com curto período de tempo, os dados mostraram que o MouseKey mostrou-se Funcional, Confiável, Usável e Acessível. Mas em suas expectativas requer um tempo maior de estudos para levantar evidências mais significativas, considerando a inclusão digital em futuros desdobramento deste estudo.

Frente a isso, já se aponta a necessidade de continuidade da pesquisa e da qualidade do software visando melhorias, pois no processo de verificação, embora fossem fatores menos relevantes neste momento, apontou a necessidade de aprimoramento nos quesitos Portabilidade, Confiabilidade e Eficiência. Além disso, seria interessante a descoberta e utilização de outros dispositivos de EEG portáteis, pois a Acurácia de uma ICC depende deles, e também a integração com Inteligência Artificial e Machine Learning.

O ideal de ICC para casos muito severos, em que nem mesmo o piscar de olhos é conseguido, seria a interação através de ondas cerebrais emitidas por pensamentos abstratos, como pensar em algo específico ou evocar lembranças emotivas. Entretanto, isso requer mapeamento cerebral de cada sujeito, longo tempo de treino para que haja mudança instantânea de padrão de onda e número maior de eletrodos. Além disso, este ideal de interação seria ingerenciável para o presente estudo, pois as citadas ações iriam requerer prolongado tempo e diferentes recursos humanos, técnicos e contextuais, que excedem os limites desta pesquisa.

De qualquer forma, este estudo chama a comunidade científica para uma reflexão sobre o EXISTIR, que em nossa gramática vem do latim *exsisto* (*exsistis*, *exsistere*) no sentido de 'elevar-se acima de, aparecer, deixar-se ver, mostrar-se; sair de, provir de, nascer de; apresentar-se, manifestar-se; existir, ser; consistir, resultar'. (1) Ter existência real, ter presença viva; viver, ser; (2) Estar presente como realidade subjetiva, particular; (4) Ter existência em determinado período de

tempo; durar, permanecer; (5) Haver. O prefixo Ex significa 'movimento para fora, tirado de'. (HOUAISS, 2001).

Nesse EXISTIR, o autor desta pesquisa se propôs a viver o pesquisador-sujeito-objeto. Nesse “ser um só¹¹⁵” me permiti refletir o que eu já trazia dentro de mim, minha visão de que para a vida não há limites, que devemos levar a frente o que todo ser humano tem dentro de si: a capacidade de passar por situações difíceis, mas erguer a cabeça e fazer tudo de novo se for preciso.

Esse ressignificar do existir/coexistir, do possível/impossível, não só do significado, do conceito e dos paradigmas sociais, faz parte do meu caminho. É um "cientificar" com o corpo todo, holístico, com todas as minhas dimensões emocionais, intelectuais, religiosas e físicas juntas. É um pensar/sentir no meu interior e exterior: na pele, no pensamento, nas emoções e na fé. É um sentir-me com propriedade para considerar minhas aprendizagens como válidas e próprias.

Esse estudo mostra que "pensamos, logo existimos". Se pudermos pensar e desejar, podemos realizar. É o chute lançado, ou uma espadada dos Mosqueteiros, para pesquisadores desenvolverem mais projetos de tecnologia assistiva por Interface Cérebro Computador, e lançar esse desafio: de tencionar que haja mais exemplos para o mundo de atitudes de acessibilidade.

Chamo atenção ainda, para reflexão sobre as condutas que os profissionais da saúde realizam diante dos corpos hospitalizados. Tais corpos, ainda que doentes, pensam, sentem e desejam. Diante de pessoas com dificuldades ou impedimentos de comunicação, precisam estar aptos a identificar vários meios para o ser humano se expressar.

Se tivermos um trajeto para ir ao trabalho de carro, mas a via principal está bloqueada, precisamos encontrar outros trajetos. Ou seja, precisamos encontrar ruas e caminhos alternativos que nos leve ao destino. Por analogia, precisam visualizar a comunicação como esse trajeto. A via principal seria a fala. Se a fala está bloqueada, precisamos encontrar outros trajetos alternativos. Esses trajetos opcionais seriam as diferentes linguagens, como expressões de sentimentos, gestos, olhares, intenções ou sinais neuroelétricos. Assim, quando a comunicação precisa percorrer esses outros caminhos alternativos, que não seja a via principal, os profissionais da saúde precisam compreender acerca de Comunicação Alternativa.

¹¹⁵ e retorno à primeira pessoa.

Obviamente que em nos nossos caminhos, ter de sair da via principal nos gera atrasos, inseguranças, distâncias maiores, gasto maior de combustível e até mesmo uma irritação. Mas ao chegarmos sentimos: "*Ufa! Ainda bem que cheguei! Atrasado, cansado, mas cheguei!*".

Ah, o Atraso!
Coisa feia?! Coisa viável?!
Só atrasa quem chega. Se não chegasse não seria Atraso, mas Ausência.
Embora o atraso também seja ausência, mas temporária!
O que se perde com essa ausência? O que se ganha com a chegada?

Ah, o Atraso!
Também é movimento, embora tardio.
Se não fosse movimento, não seria Atraso, mas Inativo.
Um movimento que nem sempre é tardio, nem sempre é lento... só as vezes percorre caminhos mais longos. Ou mais desafiadores.

Ah, o Atraso!
Um ritmo distante de outros ritmos. Mas nem por isso sem ritmo, apenas um ritmo próprio.
Um desenvolvimento distante de outros desenvolvimentos. Mas nem por isso sem desenvolvimento, apenas um desenvolvimento próprio.

Antes tarde do que nunca! (DUSIK¹¹⁶.)

O mesmo pode ocorrer com a comunicação quando está impedida de usar a via principal e necessita de caminhos alternativos. Pode ser mais dispendiosa e trabalhosa, mas chegar ao destino é gratificante!

Cada profissional, em articulação com outros, precisam agir como um cérebro. O cérebro não armazena cada memória em neurônios isolados ou distintos, mas sim em redes neuronais. Se um dado neurônio morre, o cérebro restabelece essa conexão através de outro neurônio e, assim, constrói novas redes para conservar a função. O cérebro age como os Mosqueteiros, e cumpre o sentido sagrado da fraternidade através do lema: "*Um por todos! Todos por um!*"

Que sejamos todos Mosqueteiros!

E se esta pesquisa tiver sido capaz de apenas dar esperança para aqueles que não se comunicam, ou tendem a não se comunicar, e mostrá-los que estudos se encaminham para resgatar seu EXISTIR; e ainda se esta pesquisa tiver sido capaz de aprofundar uma problemática, então acredito que o pesquisador-sujeito cumpriu seu papel.

Finalizando estas reflexões, pode-se dizer que ao desenvolver uma ICC mostraram-se evidências de que se pode auxiliar no enfrentamento de outras

¹¹⁶ Com esse poema também faço alusão à entrega desta tese, cujos prazos várias vezes precisaram ser estendidos.

pessoas em situações concretas.

Em tese, posso afirmar que o termo impossível faz parte do imaginário humano, mas não encontra lugar nas ondas cerebrais e registros corticais daqueles que não medes esforços de captar PO-S-S-Í-VE-L na vida de prováveis impossíveis.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, Amelia (Orgs.). **La mente sociocultural**. Madrid: Infancia y Aprendizaje, 1997.
- AMARAL, Ligia A. Falando sobre o trabalho da pessoa portadora de deficiência. In: **A questão do trabalho é a pessoa portadora de deficiência**. São Paulo: Reintegra, 1993.
- AMORA, A. S. **Minidicionário Soares Amora da língua portuguesa**. 10. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- ASSISTIVA. **Catálogo Nacional de Produtos de Tecnologia Assistiva**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Website, 2011. Disponível em: <<http://assistiva.mct.gov.br>>. Acesso em: 18-12-2011.
- AZEVEDO, E. M. V. M.; MORI, N. N. R. O atendimento educacional às pessoas com deficiência. In: AZEVEDO, M. L. N. (org). **Política educacional brasileira**. Formação de professores EAD. n° 13. pgs.115-127. Maringá: EDUEM, 2005.
- BABBIE, Earl. **Métodos de Pesquisas de Survey**. Belo Horizonte: UFMG, 1999.
- BAPTISTA, O. R. (Org). **Inclusão e escolarização: múltiplas perspectivas**. Porto Alegre: Mediação, 2006.
- BARANAUSKAS, M. C. C.; DE SOUZA, C. S. **Desafio 4: Acesso participativo e universal do cidadão brasileiro ao conhecimento**. Computação Brasil, Porto Alegre, v. 23, p. 7-7, Set./Out. 2006.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa, Portugal: Edições 70, 2009.
- BENTO, V.A.F. **Desenvolvimento de Interface Cérebro-Computador baseada em sinais EEG**. Dissertação. Departamento de Eletrônica, Telecomunicações e Informática. Universidade de Aveiro, 2008.
- BERGER, Theodore W. (et al). **Brain-Computer Interfaces: An International Assessment of Research and Development Trends**. 1. Ed. New York: Springer Dordrencht, 2008. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=9bYkk4WoPRMC>>. Acesso em: 20-06-2014.
- BERSCH, R.; SCHIRMER, C. Tecnologia Assistiva no processo educacional. In: BRASIL. Ministério da Educação. **Ensaio pedagógicos - construindo escolas inclusivas: 1 ed**. Brasília: MEC, SEESP, 2005.
- BERSCH, Rita. **Introdução à tecnologia assistiva**. Porto Alegre: CEDI, 2008.
- BEYER, Hugo Otto. **Inclusão e avaliação na escola: de alunos com necessidades educacionais especiais**. Porto Alegre: Mediação, 2005.

BISQUOLO, Paulo Augusto. **Potência elétrica**: Cálculo do consumo de energia elétrica. UOL Educação. Física. 2006. Disponível em <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/potencia-eletrica-calculo-do-consumo-de-energia-eletrica.htm>>. Acesso em 19/nov/2017.

BLANCHARD, B. **Logistics engineering and management**. 4th ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

BOOG, Gustavo. **Manual de gestão de pessoas e equipes**. 1ª edição. São Paulo: Gente, 2002.

BRASIL. **Decreto n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004**. Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 3 de dez. de 2004. Seção 1, p. 5.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.690, de 16 de junho de 2003**. Reabre o prazo para que os Municípios que refinanciaram suas dívidas junto à União possam contratar empréstimos ou financiamentos, dá nova redação à Lei no 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. **Portal de ajudas técnicas para educação**. Fascículo 2. Brasília: MEC/SEESP, 2004. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/comunicacao.pdf>> Acesso em 25/ago/2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. **Marcos Político-Legais da Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva** / Secretaria de Educação Especial. Brasília: Secretaria de Educação Especial, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. Atendimento Educacional Especializado: **Deficiência Física**. / Secretaria de Educação Especial. Brasília: Secretaria de Educação Especial, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: MEC/SEESP, 2008.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. Brasília: CORDE, 2009.

CARLETTO, Ana Claudia e CAMBIAGHI, Silvana. **Desenho Universal**: um conceito para todos. Instituto Mara Gabrielli: São Paulo, 2008.

CARMO, Apolônio A. **Deficiência Física**: a realidade brasileira cria, recupera e discrimina. BRASIL: MEC/Secretaria do Desporto, 1991.

CHAUI, Marilena. **Convite à filosofia**. 14ª ed. São Paulo: Ática, 2012.

CNAT, 2005. **Catálogo Nacional de Ajudas Técnicas**, Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência (SNRIPC). Disponível em <<http://www.ajudastecnicas.gov.pt/about.jsp>> Acesso em 25 ago. 2013.

CYBIS, W. A; BETIOL, A. H. e FAUST, R, **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações**. São Paulo: Novatec, 2007.

DELISA, J. A. **Tratado de medicina de reabilitação, princípios e prática**. 3ª ed. São Paulo: Manole, 2001.

DESCARTES, René. **Discurso do Método**. Tradução de Maria Ermantina Galvão. São Paulo, Martins Fontes, 2001.

DESNEY S. Tan and ANTON Nijholt. Brain-Computer Interfaces and Human-Computer Interaction. **Chapter 1: Brain-Computer Interfaces and Human-Computer Interaction**. Springer, London, 2010.

DIAS, Cláudia. **Usabilidade na Web: criando portais acessíveis**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2003.

DUSIK, C. L.; SANTAROSA, L. M. C. **Teclado virtual silábico-alfabético: tecnologia assistiva para pessoas com deficiência física**. In: XV International Symposium on Computers in Education, 2013, Viseu. XV International Symposium on Computers in Education, 2013. p. 212-218.

DUSIK, C.L. (*et al*). Glogster: validação da acessibilidade em uma ferramenta de comunicação assíncrona. In: Passo Fundo, RS. **Seminário Nacional de Inclusão Digital - Tecnologias e Metodologias de Inclusão Digital**. Modo de acesso: <<http://senid.upf.br/anais>> Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012.

DUSIK, Claudio L. **Teclado virtual silábico-alfabético: tecnologia assistiva para pessoas com deficiência física**. 2013. 120 fls. Dissertação de Mestrado em Educação. Núcleo de Informática na Educação Especial. Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ECHEITA, G., MARTIN, E. **Interação social e aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

FERNANDES, A.C. (*et.al.*) **Medicina e Reabilitação: princípios e prática**. São Paulo: Artes Médicas, 2007.

FIGUEIREDO, Nélia Maria Almeida de. (Org.). **Método e Metodologia na Pesquisa Científica**. São Caetano do Sul/SP: Yendis Editora, 2008.

FILHO, M. F; GOMES, M. P. **Síndrome do Encarceramento (Locked In Síndrome)**. Registro de um caso de revisão de literatura. Arq. NeuroPsiquiatria (São Paulo) Vol. 40, nº3, Set. 1982.

FONSECA, Ricardo Tadeu Marques da. **O trabalho protegido do portador de deficiência (histórico)**. Advocacia pública e sociedade. São Paulo, v.1, n.1, Max Limonad. Publicação Oficial do Instituto Brasileiro de Advocacia Pública, p.135-139,

1997.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a pedagogia do oprimido. 3.ed. São Paulo: Paz e Terra, 1992.

FURLANETTO, Ecleide. **Formação e transdisciplinaridade**: o encontro com a experiência. En Torre, S., Pujol, M.A., Rajadle, N., Borja, M. (Coords) Innovación y Creatividad (CDROM). Barcelona: Giad, 2010. Disponível em: <http://www.revistarecreate.net/IMG/pdf/R12_1_FORUM_INCREA_2010_Formacao_e_transdisciplinaridade_o_encontro_com_a_experiencia_Ecleide_Cunico_Furlanetto.pdf> Acesso em: 22/jan/2018.

GALVÃO FILHO, Teófilo Alves; DAMASCENO, Luciana Lopes. Programa InfoEsp: Premio Reina Sofia 2007 de Rehabilitación y de Integración. *In: Boletín del Real Patronato Sobre Discapacidad*, n. 63, p. 14-23. Ministerio de Educación, Política Social y Deporte, Madri, Espanha, 2008.

GODIRRO, A. **Teste do Neural Impulse Actuator da OCZ**. Clube do Hardware. 2008. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/Teste-do-Neural-Impulse-Actuator-da-OCZ/1590/3>>. Acesso em: 2014-06-22.

GRAIMANN, B.; ALLISON, and PFURTSCHELLER, G. Brain–Computer Interfaces: A Gentle Introduction. *In: GRAIMANN, B. et al. (eds.). Brain–Computer Interfaces, The Frontiers Collection*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 2010.

GUALBERTO FILHO, A. et al. **Uma visão ergonômica do portador de deficiência** (mesa redonda). Recife: Anais do VII Congresso latinoamericano de ergonomia. Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO), 2002.

GUYTON, Artur C. **Tratado de Fisiologia Médica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993.

HARTSON, H.R. Human-Computer Interaction: Interdisciplinary roots and trends”. *In: The Journal of System and Software*, 43, 103-118. 1998. Disponível em: <[http://research.cs.vt.edu/usability/publications/HCI%20roots%20and%20trends%20\(jss\).pdf](http://research.cs.vt.edu/usability/publications/HCI%20roots%20and%20trends%20(jss).pdf)> Acesso em: 20/12/13.

HEIDRICH, R. (et al). **Desenvolvimento de Um Simulador Controlado por Interface Cérebro-Computador Não Invasiva para Treinamento na Utilização de Cadeira de Rodas**. Novas Tecnologias na Educação. CINTED-UFRGS. V. 11 Nº 3, dezembro, 2013.

HORSTMANN, C. S.; CORNELL, G. **Core Java 2 Volume II - Recursos Avançados**. São Paulo: Makron Books, 2001.

HOUAISS, A. **Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva. Versão 1.0. 1 [CD-ROM]. 2001.

HULL, E.; JACKSON, K.; DICK, J. **Requirements Engineering**. 3ª edition. New York: Springer-Verlag, 2004. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=5xREIrqnDQEC> >. Acesso em: 2014-06-22.

IBGE. **Censo demográfico**: resultados preliminares da amostra. Tabela 1.1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_Preliminares_Amostra/tabelas_de_resultados.zip>. Acesso em: 18 dez. 2011.

IIDA, Itiro. **Ergonomia**: Projeto e Produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

LANA, Carlos Roberto de. **Potencial elétrico e eletrodinâmica**: O movimento da carga elétrica. UOL Educação. Física. 2005. Disponível em <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/potencial-eletrico-e-eletrodinamica-o-movimento-da-carga-eletrica.htm>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

LAPASSADE, G. **Grupos, organizações e instituições**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

LAVILLE, Antoine. **Ergonomia**. São Paulo: EPU, 1977.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. **A construção do saber**. Manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

LEBEDEV, M.A and NICOLELIS, M.A.L. **Brain-machine interfaces**: past, present and future. Elsevier. Science Direct. Trends in Neurosciences Vol.29 N^o.9, 2006. Disponível em: <http://cs.rochester.edu/~kautz/Courses/290Bspring2008/NeuroRobots/TiNS_2006.pdf>. Acesso em: 2014-06-20.

LINS, O. G. (*et al.*). **Ocular artifacts in recording EEGs and event-related potentials II: source dipoles and source components**. Brain topography. 6:65-78. 1993.

LUCAS, Francisco José C.; BRAGA, Nadia I. O.; SILVADO, Carlos Eduardo Soares. **Recomendações técnicas para o registro do eletroencefalograma (EEG) na suspeita da morte encefálica**. Arquivos de Neuro-Psiquiatria, São Paulo, v.56, n.3B, p.697-702, Set. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0004-282X1998000400030&script=sci_arttext>. Acesso em 11/out/2015.

LURIA, A. R.; LEONTIEV, A.; e VIGOTSKY, L. S. **Psicología y pedagogía**. Madrid, Adal, 1986.

MACHADO, Ângelo. **Neuroanatomia Funcional**. Rio de Janeiro/São Paulo: Atheneu, 1991.

MACHADO, Sérgio. (*et al.*). **Interface cérebro-computador**: novas perspectivas para a reabilitação. Trabalho realizado no Instituto Brasileiro de Biociências Neurais (IBBN), Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Revista Neurociências, 17(4). p.329-325, 2009.

MACHADO, Susana (*et al.*). **Recomendações Esclerose Múltipla**. São Paulo: Ominfarma, 2012.

MANTOAN, Maria Teresa Eglér. **Inclusão escolar**: O que é? Por quê? Como fazer?

São Paulo: Moderna, 2003.

MARQUES, Domiciano Correa. **Corrente Elétrica**. Brasil Escola. Online, 2014. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/corrente-eletrica.htm>>. Acesso em: 2015-08-23.

MAZZOTTA, Marcos J. S. Identidade dos alunos com necessidades educacionais especiais no contexto da política educacional Brasileira. **Revista Movimento**, Niterói, v. 10, n. 7, p. 11-18, 2003.

MAZZOTTA, Marcos J.S. **Educação Especial no Brasil**: Histórias de Políticas Públicas. São Paulo: Cortez, 1996.

MEYER, B. Software quality. p.3-20. In: MEYER, B. **Object-Oriented Software Construction**, Second Edition. ISE Inc: Santa Barbara, 1997. Disponível em: <http://moodle.inf.ufrgs.br/pluginfile.php/26505/mod_resource/content/1/Leituras/OO-SC-Cap1-Software_Quality.PDF>. Acesso em: 2014-06-22.

MIRANDA, Eduardo Reck. **Brain-Computer music interface for composition and performance**. Int J Dis Human. 5(2). Freund Publishing House Limited: Dev 2006.

MORAES, Anamaria de e SOARES, Marcelo M. **Ergonomia no Brasil e no mundo**: um quadro, uma fotografia. Rio de Janeiro: ABERGO. Associação Brasileira de Ergonomia. p.3-7, p.24-29, 1989.

MORAES, Anamaria de. **Ergonomia**: a humanização do trabalho, da tecnologia, das organizações, da engenharia e do design. In: 14º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), João Pessoa, PB. Anais. UFBP/ABEPRO, v.1, p.21-24, 1994.

MORAES, Anamaria de. Usabilidade de Interfaces: **Ergonomização do diálogo pesquisador-computador**. In: I Encontro África-Brasil, IX Congresso Brasileiro de Ergonomia, V Congresso Latino Americano de Ergonomia, III Seminário de Ergonomia da Bahia, Salvador. Anais. Bahia, 1999.

MORAES, Maria Cândida; VALENTE, José Armando. **Como pesquisar em educação a partir da Complexidade e da Transdisciplinaridade?** São Paulo: Paulus, 2008.

MORIN, Edgar. **Introdução ao Pensamento complexo**. Tradução de Eliane Lisboa. 3ª ed. Porto Alegre: Sulina, 2007.

MOURA, Fernando Silva de. **Estimação não linear de estado através do Unscented Kalman Filter na tomografia por impedância elétrica**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-01082013-154423/>>. Acesso em: 2014-06-20.

MULLER, I. **Aconselhamento em grupo com pessoas portadoras de deficiência**. Mestrado em teologia. Faculdade de Teologia. São Leopoldo, julho 1997.

NÉRICI, Imideo G. **Lar, Escola e Educação**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1977.

NICOLELIS, Miguel (*et al*). **A Brain-Machine Interface Enables Bimanual Arm Movements in Monkeys**. Science Translational Medicine. Vol. 5, Issue 210, p. 210. 06/Nov/2013. Disponível em: <<http://stm.sciencemag.org/content/5/210/210ra154.abstract>>. Acesso em: 2014-06-20.

NICOLELIS, Miguel (*et al*). **Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates**. 2nd ed. Durham: Duke University, 2008. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=WFbM_-yu234C>. Acesso em: 2014-06-20.

NICOLESCU, Basarab. **O manifesto da Transdisciplinaridade**. Tradução de Lucia Pereira de Souza. São Paulo: Triom, 1999.

NICOLOSI, Denys Emílio Campion. **Microcontrolador 8051 Detalhado**. São Paulo: Érica, 2000.

NIELSEN, Jakob. **Usabilidade na web: Projetando Websites com qualidade**. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

NOGUEIRA, Paula Cristina; CALIRI Maria Helena Larcher; HAAS, Vanderlei José. **Perfil de pacientes com lesão traumática da medula espinhal e ocorrência de úlcera de pressão em um hospital universitário**. Rev Latino-am Enfermagem. maio-junho. 14(3). 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rlae/v14n3/pt_v14n3a10.pdf>. Acesso em: 2014-06-22.

OBORNE, David J. **Ergonomics at Work: Human Factors in Design and Development**. Chichester: John Wiley & Sons, 1982.

OLIVEIRA, Maria Aparecida Domingues de. **Neurofisiologia do comportamento: uma relação entre o funcionamento cerebral e as manifestações comportamentais**. 3. ed. Canoas: ULBRA, 2005.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde**. Classificação Detalhada com definições. Todas as categorias com as suas definições, inclusões e exclusões, 2004.

PACHECO, José. EGGERTSDÓTTIR, Rosa. MARINÓSSON, Gretar L. **Caminhos para a inclusão: um guia para o aprimoramento da equipe escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

PARMÊNIDES. **Da Natureza**. Tradução do Professor Dr. José Gabriel Trindade Santos. Loyola, São Paulo, 2002.

PASSERINO, Liliana M.; BEZ, Maria Rosângela (Org.). **Comunicação Alternativa: mediação para uma inclusão social a partir do Scala [recurso eletrônico]**. Passo Fundo/RS: Universidade de Passo Fundo, 2015.

PEDROSO, William Santos. **TIP - Tecnologia Integrada ao Pulso**. Artigo. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Curso de Ciência da Computação.

Universidade Luterana do Brasil, Canoas - RS, 2014.

PEREIRA, Joaquim José Sobral. **Uso de Interfaces Cérebro-computador na comunicação de pessoas com Síndrome de Encarceramento**. 2013. 173fls. Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática. Sistemas Gráficos e Multimédia. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Universidade do Porto. Portugal, 2013.

PETERMAN, Renato. **Uma abordagem sobre interface cérebro-computador e suas aplicações na computação**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Sistemas de Informação - Universidade Paranaense – UNIPAR, 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/92707795/Uma-Abordagem-sobre-Interface-Cerebro-Computador-e-suas-Aplicacoes-na-Computacao>>. Acesso em: 2014-06-20.

PHEASANT, Stephen. **Bodyspace**: antropometry, ergonomics and the design of work. London: Taylor & Francis, 1998.

PHEASANT, Stephen. **Ergonomics**, standards and guidelines for designers. New Jersey/USA: Milton Keynes, BSI, 1986.

POLIDORI, José Henrique. **Desenvolvimento de um sistema de controle para movimentar manipulador de três graus de liberdade**. 2009. 68fls. Monografia. Engenharia Mecânica. Universidade São Francisco. Itatiba. São Paulo, 2009.

POLIZELLI, Demerval e OZAKI, Adalton (org). **Sociedade da Informação**: os desafios da era da colaboração e da gestão do conhecimento. São Paulo: Saraiva, 2008.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RADABAUGH, Mary Pat. **Study on the Financing of Assistive Technology Devices of Services for Individuals with Disabilities** - A report to the president and the congress of the United State, National Council on Disability, March, 1993.

RATSKA, Adolph. Sociedade Inclusiva: Histórico na Europa. In: **I Seminário Internacional Sociedade Inclusiva em Belo Horizonte**, PUC-Minas, 1999. Disponível em: <<http://proex.pucminas.br/sociedadeinclusiva/historicoEUR.php>> Acesso em: 25/jan/2013.

REZENDE, Sérgio M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

RIBEIRO, R.; FRESSATTI, W.; MOURA Jr, J. **Um estudo sobre interface cérebro computador e sua utilização em dispositivos robóticos**. XII Mostra de Trabalhos de Iniciação Científica. XV SEINPAR. 27/Ago/2013. Universidade Paranaense (Unipar). Paranavaí/PR, 2013.

RIOS, Emerson. **Análise de Riscos em Projetos de Teste de Software**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008.

ROCHA, Cármen Lúcia Antunes. O Princípio da Dignidade da Pessoa Humana e a Exclusão Social. **Revista Interesse Público**, n. 04, p. 23-48. 1999.

ROCHA, Heloísa V. e BARANAUSKAS, Maria Cecília C. **Design e avaliação de interfaces humano-computador**. Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003.

RODRIGUES, David. (Org.). **Perspectivas sobre a inclusão: da educação à sociedade**. Coleção Educação Especial. v. 14, p.25-36. Porto: Porto Editora, 2003.

RODRIGUES, Eduardo Büchele (et al). **Implantes eletrônicos para restabelecimento da visão em cegos**. IV Simpósio De Oftalmologia Ivo Corrêa Meyer. Arq Bras Oftalmol; 67:359-369, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abo/v67n2/19769.pdf>> Acesso em: 15/ago/2015.

ROPOLI, Edilene Aparecida (et. al.). **A educação especial na perspectiva da inclusão escolar: a escola comum**. Coleção A educação especial na perspectiva da inclusão escolar. Brasília: Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial (Fortaleza): Universidade Federal do Ceará, 2010.

SABBATINI, R.M.E. **Mapeando o Cérebro**. Cérebro & Mente. Revista Eletrônica de Divulgação Científica em Neurociência. N° 3. Home Page. Disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n03/tecnologia/eeg_p.htm>. Acesso em: 2014-06-22.

SANTAROSA, L. M. C.; CONFORTO, Débora; PASSERINO, Liliana; ESTABEL, Lizandra; CARNEIRO, Mara Lúcia; GELLER, Marlise. **Tecnologias Digitais Acessíveis**. 1. ed. Porto Alegre: JSM Comunicação Ltda, 2010.

SANTAROSA, L. M. C.; UCHOA, Claudia. **Acessibilidade Tecnológica e Pedagógica na Apropriação das Tecnologias de Informação e Comunicação por Pessoas com Necessidades Educacionais Especiais**. In: XIV SBIE - Simpósio de Informática na Educação, 2003, Rio de Janeiro. Anais do XIV SBIE, 2003. v. 1. p. 441-450.

SANTIAGO, E. **Impedância Elétrica**. InfoEscola. Online. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/eletricidade/impedancia-eletrica/>>. Acesso em: 2014-06-22.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Por uma concepção multicultural de direitos humanos**. Lua Nova, Revista de Cultura e Política. n° 39, pp. 105-124. 1997.

SANTOS, Boaventura de Souza. **Um discurso sobre as ciências**. 7ª ed. São Paulo: Cortez, 2010.

SANTOS, Josemar dos. **Controle de motores elétricos**. Anexo I - Revisão Valores Médios Eficaz. Centro Universitário Fundação Santo André. São Paulo, 2008. Disponível em <<http://www3.fsa.br/mecanica/arquivos/anexo1copia.pdf>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

SANTOS, Neri e FIALHO, Francisco. **Manual de Análise Ergonômica no Trabalho**. Curitiba: Gênese, 1997.

SARLET, Ingo Wolfgang. **Dignidade da pessoa humana e direitos fundamentais na Constituição Federal de 1988**. 9. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2012.

SARTORETTO, Mara Lúcia; BERSCH, Rita de Cássia Reckziegel. **Recursos Pedagógicos Acessíveis e Comunicação Aumentativa e Alternativa**. Coleção A educação especial na perspectiva da inclusão escolar. Brasília: Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial (Fortaleza): Universidade Federal do Ceará, 2010.

SASSAKI, Romeu. **Inclusão: construindo uma sociedade para todos**. 7. ed. Rio de Janeiro: WVA, 2006.

SCHERRE, Paula Pereira. **E quando pesquisador e pesquisado são a mesma pessoa?** Reflexões epistemo-metodológicas à luz da complexidade e da transdisciplinaridade. Revista Terceiro Incluído, v. 5, p. 263/92-286, 2015.

SCHMIDEK, Werner Robert; CANPOS, Geny Aparecida. **Evolução do sistema nervoso, especialização hemisférica e plasticidade cerebral: um caminho ainda a ser percorrido**. Revista Pensamento Biocêntrico. nº 10, jul/dez, Pelotas, 2008.

SENADO FEDERAL. **Comenda Dom Hélder Câmara é entregue a defensores dos direitos humanos**. Senado Notícias. Agência Senado. Online, 03/12/2013. Atualizado em 02/03/2015. Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2013/12/03/comenda-dom-helder-camara-e-entregue-a-defensores-dos-direitos-humanos>. Acesso em 11/out/2015.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Corrente elétrica**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/corrente-eletrica.htm>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

SILVEIRA, Sergio Amadeu da; CASSIANO, João. **Software livre e inclusão digital**. Porto Alegre: Conrad, 2003.

SOUZA, Fábio. **Tensão, corrente e resistência**. Embarcados. 2016. Disponível em <<https://www.embarcados.com.br/tensao-corrente-e-resistencia-eletrica/>>. Acesso em 19 de novembro de 2017.

SPENCER, Alexander P. **Anatomia Humana básica**. São Paulo: Manole, 1991.

TOMASELLO, M. **Origens culturais da aquisição do conhecimento humano**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Metodologia da Pesquisa**. 2ª Ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A, 2009.

TRIPP, David. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Educação e Pesquisa, São Paulo, [online]. 2005, vol.31, n.3, pp.443-466. ISSN 1517-9702. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>.

VALLABHANENI A, WANG T, HE B. **Brain Computer Interface**. Neural

Engineering. Kluwer Academic/Plenum Publishers: 2004.

VIVEIROS, E.R de, CAMARGO, E.P de. **Mindware semiótico-comunicativo**: aplicação do software open-vibe numa interface cérebro-computador no ensino de física para deficientes visuais. Anais da X Jornada de Educação Especial: Educação Especial e o uso das tecnologias da informação e comunicações em práticas pedagógicas inclusivas. Marília: Oficina Universitária, 2010. v. 1. p. 1-8.

VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. e LURIA. A. R. **Studies in the History of Behaviour**: Ape, primitive and child. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1993.

VYGOTSKY, L. S. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. São Paulo: Ícone, 1988.

VYGOTSKY, L. S. Obras Escogidas V: **Fundamentos de defectología**. Madri: Visor, 1997.

W3C. **Web Accessibility Initiative**. 2011. Disponível em: <<http://www.w3.org.br/wai/>>. Acesso em: 18-12-2011.

WAISSMAN, Flavia Quadros Boisson e PEREIRA, João Santos. **Câimbra do Escrivão**: perspectivas terapêuticas. Revista Neurociências. 16/3:237-241, 2008. Disponível em: <<http://www.revistaneurociencias.com.br/edicoes/2008/RN%2016%2003/Pages%20from%20RN%2016%2003-13.pdf>>. Acesso em: 18-01-2013.

WARSCHAUER, Mark. **Tecnologia e Inclusão Social**: a exclusão social em debate. Tradução Carlos Szlak. São Paula: SENAC, 2006.

WAWRICK, Iolanda. **Memórias, histórias, melodias**: metáforas para pensar e viver a inclusão. 2005. 55fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia - Ênfase em Supervisão Escolar). Centro Universitário La Salle. Canoas, 2005.

WOLPAW J, LOEB G, ALLISON B, (et al). ICC Meeting 2005 –Workshop on signals and recording methods. **IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng**. 14:138-42. 2006.

ANEXOS

Anexo I - Consentimento Informado para o Estudo.**TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO**

Está sendo feita uma pesquisa com pessoas com deficiência física para ver se é possível usar um teclado virtual com o pensamento e se ajuda à escrita e inclusão dessas pessoas. Esta pesquisa é condição para obtenção do título de Doutor em Educação, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Será realizada uma entrevista e um questionário, além de registrar o uso pelo participante de um Teclado Virtual com um dispositivo que detecta ondas cerebrais. O uso será gravado em vídeo. Serão necessários no máximo sete encontros de aproximadamente 2h de duração cada um, que talvez possam causar cansaço e insatisfação. Porém se respeitará seu limite e vontade.

Os resultados da pesquisa poderão aumentar as alternativas de tecnologias com interface cérebro computador para usar teclados virtuais gratuitos, beneficiando pessoas que não conseguem escrever.

Você é voluntário nessa pesquisa e pode abandonar e retirar seu consentimento de participação se assim desejar, sem qualquer prejuízo no relacionamento com a equipe da pesquisa. Você pode ter acesso às informações geradas pela pesquisa, inclusive aqueles que dizem respeito a sua pessoa.

Você autoriza o uso dos dados na pesquisa?

() sim ; () não

Você autoriza o uso de suas imagens em apresentações da pesquisa?

() sim ; () não

Nome: _____

Data: ____/____/2016.

Pesquisador: Cláudio Luciano Dusik

Fones: (51) 3458-0936; 8227-0196

Orientadora: Dra. Lucila Maria Costi Santarosa

Núcleo de Informática na Educação Especial - NIEE-UFRGS

Rua Paulo Gama, 110 - 8.andar / Sala 802 90046-900 - Porto Alegre/RS

Tel/Fax: 55+05133083269

Anexo II - Entrevista semidirigida (Modelo)

O roteiro é para o pesquisador e não será respondido como um questionário.

- a) Você sabe ler e escrever, e se comunicar?
- b) Quais atividades de escrita você participa? Com que frequência? Existem atividades que envolvem a escrita e você não consegue participar? Quais?
- c) Você consegue ler e escrever? quais dificuldades? motoras, cognitivas, de fala, outras?
 - a. Se você não consegue, já houve tentativa/s de escrever? Qual/is?
 - b. Se você consegue escrever, é com apoio ou sem apoio de recursos de Tecnologia Assistiva?
 - i. (se consegue sem apoio não é público alvo desse estudo)
 - ii. Se é com apoio de recursos de Tecnologia Assistiva, qual ou quais são usados atualmente?
- d) Houve outros recursos que não deram certos? Quais e Por quê?
- e) Quais suas aspirações ou anseios frente à ação de escrever?
- f) Como você utiliza o computador? De que forma?
- g) Existe cansaço ou desgaste físico no método que utiliza para escrever? Por Quê? Explique
- h) Quais ações na construção da escrita são mais difíceis para você? Por quê?
- i) O que as pessoas a sua volta pensam da maneira que você escreve? Quais as expectativas delas em relação a sua escrita?
- j) Você está satisfeito com sua forma de escrever? Por quê?
- k) Você está satisfeito com seus recursos de apoio para escrever? Por quê? Desejaria ter outros? Quais?
- l) Há considerações que gostaria de manifestar? Há alguma necessidade específica não relatada?

Anexo III - Protocolo de verificação de Ergonomia

- a) O usuário sente que o aplicativo apresenta uma sobrecarga de informações, sejam essas textuais ou visuais?
- b) A combinação de cores entre o fundo e o texto na interface é suficientemente contrastante para permitir que a informação seja visualizada?
- c) O aplicativo apresenta possibilidade de alterar o tamanho do texto para adequar às necessidades do usuário?
- d) Todos os recursos disponibilizados pelo aplicativo que o usuário usou estavam funcionando adequadamente? [] Sim; [] Não
- e) Toda a funcionalidade do aplicativo estava disponível a partir do recurso de apoio que o usuário utiliza?
- f) Se o usuário usa varredura ou outro meio de navegar o foco das teclas, a ordem do foco corresponde de forma sequencial de navegação?
- g) A interação com o aplicativo foi possibilitada sem a instalação de programas no computador?
- h) O sistema oferece orientações de como utilizar os recursos oferecidos?
- i) O usuário sentiu que o aplicativo oferece uma tela que corresponde as suas necessidades?
- j) Os botões funcionam adequadamente? Eles estão devidamente etiquetados?
- k) O aplicativo apresenta um menu que permite acesso à informação conforme necessidade e interesse do usuário?
- l) O aplicativo apresenta uma interface com recursos que operam de maneira previsível?
- m) Na digitação do texto há um armazenamento de dados que permite apagar, corrigir e salvar? Está disponível um mecanismo para rever, confirmar e corrigir as informações antes de finalizar uma exclusão de texto?
- n) A organização dos itens obedece a uma ordem que reflete a importância relativa de cada um?
- o) O sistema suporta a interação consorciada com outros aplicativos e/ou tecnologia assistiva?
- p) O aplicativo fornece confirmação das ações realizadas? O feedback acontece dentro de um tempo razoável? A informação permanece na tela até que não seja mais necessária?
- q) Há reversibilidade na execução dos comandos?

- r) No caso de erro, o aplicativo informou qual era o problema e como resolvê-lo?
- s) O aplicativo utiliza metáforas de modo que estes possam ser operados de modo semelhante ao que seriam seus correlatos no mundo real?
- t) Usa palavras e conceitos desconhecidos pelo usuário?
- u) A estrutura foi suficientemente organizada facilitando que você tenha aprenda utilizar?
- v) O aplicativo atende às expectativas do usuário com base na proposta em questão?
- w) O aplicativo permitiu que o usuário conseguisse de forma rápida e segura apropriar-se de suas funcionalidades?
- x) O usuário atingiu os objetivos em curto espaço de tempo na primeira vez que acessou?