

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

Configurações para métodos de acesso por escaneamento

Daniel Teodoro Gonçalves Mariano

Uberlândia

2016

Daniel Teodoro Gonçalves Mariano

Configurações para métodos de acesso por escaneamento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica

Linha de Pesquisa: Engenharia de reabilitação e tecnologias assistivas

Prof. Dr. Eduardo Lázaro Martins Naves

Orientador

Prof. Edgard Afonso Lamounier Jr, PhD

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica

Uberlândia

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M333c Mariano, Daniel Teodoro Gonçalves, 1987
2016 Configurações para métodos de acesso por escaneamento / Daniel
 Teodoro Gonçalves Mariano. - 2016.
 132 f. : il.

Orientador: Eduardo Lázaro Martins Naves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica - Teses. 2. Comunicação - Teses. 3.
Inabilidade na leitura - Teses. 4. Dispositivos de auto-ajuda para pessoas
com deficiência - Teses. I. Naves, Eduardo Lázaro Martins, 1970. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Biomédica. III. Título.

CDU: 62:61

Daniel Teodoro Gonçalves Mariano

Configurações para métodos de acesso por escaneamento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica

Linha de pesquisa: Engenharia de reabilitação e tecnologias assistivas

Uberlândia, 25 de abril de 2015.

Banca examinadora:

Prof. Eduardo Lázaro Martins Naves, Dr. - Orientador (UFU)

Prof. Alcimar Barbosa Soares, Dr. (UFU)

Prof. Carlos Galvão Pinheiro Júnior, Dr. (UFG)

Prof. Yann Morère, Dr. (UL)

Prof. Pierre Pino, Dr. (UL)

Prof. Guy Bourhis, Dr. (UL)

Agradecimentos

A Alba, pelo amor e incentivo diário.

Aos meus pais Fátima e Mariano, pelo carinho e apoio de sempre.

Aos meus irmãos Érika, Marcus e Marcello, pela amizade compartilhada.

A todos os demais familiares, por sempre torcerem por mim.

A todos os meus amigos, por fazerem parte da minha vida.

Ao professor Eduardo, pelos ensinamentos e pela confiança depositada em mim.

Ao professor Alcimar, pelas discussões construtivas e pelo suporte.

Aos colegas do laboratório, pelo harmonioso ambiente de trabalho.

Aos voluntários deste trabalho, por possibilitarem a realização deste estudo.

A Andrei e Ricardo, por me ajudarem a ampliar os horizontes deste trabalho.

Ao Biolab, pelas madrugadas de trabalho e aprendizagem.

"One, remember to look up at the stars and not down at your feet. Two, never give up work. Work gives you meaning and purpose and life is empty without it. Three, if you are lucky enough to find love, remember it is there and don't throw it away."

Stephen Hawking

*"Communication is not only the essence of being human,
but also a vital property of life."*

John A. Piece

Resumo

O emprego de tecnologias de acesso a comunicação, baseados em métodos de acesso por escaneamento, viabiliza novas oportunidades de comunicação para indivíduos com disfunção motora severa. Um dos exemplos mais comuns desse tipo de tecnologia é o teclado virtual operado por varredura. Teclados virtuais são frequentemente utilizados como dispositivos de comunicação aumentativa e alternativa por indivíduos com restrições motoras graves e que apresentam comprometimento da fala e da escrita. São compostos por uma matriz de teclas e simulam a operação de um teclado físico para a composição de mensagens. Uma das limitações desses sistemas é o baixo desempenho que possuem. Taxas de comunicação lentas e a considerável ocorrência de erros são alguns dos problemas que usuários desses dispositivos sofrem durante o uso diário. O desenvolvimento e a avaliação de novas estratégias em comunicação aumentativa e alternativa são essenciais para a melhoria das oportunidades de comunicação dos usuários que fazem uso desse tipo de tecnologia. Neste sentido, este trabalho explora diferentes estratégias para aumentar essa taxa de comunicação e reduzir os erros cometidos por seus usuários. Análises computacionais e práticas foram executadas para a avaliação das estratégias propostas.

Palavras chave: Comunicação aumentativa e alternativa; erros de sincronia; métodos de acesso por escaneamento; teclados virtuais; tecnologias assistivas;

Abstract

The use of access technologies for communication, based on scanning methods, enables new communication opportunities for individuals with severe motor dysfunction. One of the most common examples of this type of technology is the single switch scanning. Single switch scanning keyboards are often used as augmentative and alternative communication devices for individuals with severe mobility restrictions and with compromised speech and writing. They consist of a matrix of keys and simulate the operation of a physical keyboard to write messages. One of the limitations of these systems is their low performance. Low communication rates and considerable errors occurrence are some of the few problems that users of these devices suffer during daily use. The development and evaluation of new strategies in augmentative and alternative communication are essential to improve the communication opportunities of user who make use of such technology. Thus, this work explores different strategies to increase communication rate and reduce user's mistakes. Computational and practical analysis were performed for the evaluation of proposed strategies.

Keywords: Assistive Technology; Augmented and Alternative Communication; Scanning Access Method; Single Switch Scanning; Timing errors.

Publicações

Mariano, D. T. G.; Naves, E. L. M. Virtual Scanning Keyboards analysis in different arrangements for a Portuguese text corpus. In: International Workshop on Assistive Technology (IWAT), Vitória, 2015.

Mariano, D. T. G.; Silva, A. N. ; Pierre, P. ; Naves, E. L. M. Avaliação de desempenho de diferentes configurações de teclados para um sistema CAA. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia. Anais - CBEB2014, 2014, 2014.

Mariano, D. T. G.; Freitas, A. M.; Luiz, L. M. D.; Silva, A. N.; Pierre, P.; Naves, E. L. M. An accelerometer-based human computer interface driving an alternative communication system. In: Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC), 5th ISSNIP-IEEE (pp. 1-5). IEEE, 2014.

Luiz, L. M. D.; Freitas, A. M.; Mariano, D. T. G.; Cardoso, R. G.; Pino, P.; Naves; E. L. M. Comunicação alternativa de paciente com Esclerose Lateral Amiotrófica por meio de acelerometria. VII Simpósio em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas e Quadros	xvi
Lista de Abreviaturas e Siglas	xvii
I Introdução geral	1
1 Introdução	2
1.1 Motivação	6
1.2 Objetivos específicos	7
1.3 Hipóteses	7
1.4 Estrutura do trabalho	8
II Revisão bibliográfica	10
2 Comunicação aumentativa e alternativa	11
2.1 Intervenções em CAA	12
2.2 Componentes primários em CAA	15
2.2.1 Métodos de representação de linguagem	15
2.2.2 Seleção e organização do vocabulário	16
2.2.3 Construção de mensagens e fala	17
2.3 Componentes secundários em CAA	17
2.3.1 Interfaces	17
2.3.2 Métodos de controle	18
2.3.3 Métodos de saída de dados	21

2.4	Componentes terciários em CAA	21
2.5	Exemplos de dispositivos de CAA	22
3	Métodos de acesso por escaneamento	24
3.1	Características do método de acesso por escaneamento	24
3.1.1	<i>Layout</i>	25
3.1.2	Arranjo das teclas	26
3.1.3	Navegação	29
3.1.4	Temporizador	35
3.1.5	Predição de caracteres/palavras	37
3.2	Cálculo do tempo de seleção de uma tecla	37
3.3	Métricas de desempenho em sistemas de escaneamento	41
3.4	Modelos de taxa de comunicação	43
III	Desenvolvimento da plataforma para experimentos	45
4	Sistema de CAA com MAE	46
4.1	Introdução	46
4.2	Materiais e métodos	50
4.2.1	Classificação das ações da interação entre usuário e interface .	50
4.2.2	Módulo de experimentos	52
4.2.3	Módulo auxiliar de configurações	53
4.2.4	Módulo auxiliar de processamento de dados	54
4.3	Resultados	54
4.3.1	Classificação das ações da interação entre usuário e interface .	54
4.3.2	Módulo de experimentos	56
4.3.3	Módulo auxiliar de configurações	58
4.3.4	Módulo auxiliar de processamento de dados	58
4.4	Discussão	60
IV	Estudos	61
5	Estudo 1: Arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa	62

5.1	Introdução	64
5.2	Métodos e materiais	66
5.2.1	Construção de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa	66
5.2.2	Experimento computacional: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa	67
5.2.3	Experimento prático: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa em tarefas de transcrição	69
5.3	Resultados	74
5.3.1	Construção de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa	74
5.3.2	Experimento computacional: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa	76
5.3.3	Experimento prático: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa em tarefas de transcrição	76
5.4	Discussão	78
6	Estudo 2: Atraso de recuperação com feedback visual	80
6.1	Introdução	82
6.2	Métodos e materiais	83
6.2.1	Experimento com indivíduos saudáveis	84
6.2.2	Análise estatística	85
6.3	Resultados	88
6.4	Discussão	93
6.4.1	Resultados experimentais	93
6.4.2	Análise temporal do comportamento do usuário	95
6.4.3	Considerações gerais	97
V	Conclusões	99
7	Conclusão	100
Referências Bibliográficas		102

Lista de Figuras

2.1	Componentes do método para escolha de tecnologias CAA para usuários com CNC	14
2.2	Exemplos de sequência de símbolos para a construção de mensagens do Minspeak	16
2.3	Solução de acesso.	19
2.4	Categorias de tecnologias de acesso a partir do nível dos movimentos físicos do usuário.	20
2.5	Prancha com símbolos PCS	22
2.6	Go Talk 20+	23
2.7	<i>Software</i> de CAA Wivik	23
3.1	Disposição das teclas em um layout	25
3.2	Teclados virtuais com distribuição circular: (1) Prabhu et al (2) Topal et al.	26
3.3	Exemplos de arranjos de teclas.	26
3.4	Matrizes otimizadas para facilitar o acesso dos caracteres mais prováveis de serem selecionados.	27
3.5	Escrita da palavra "SIM" utilizando um teclado ambíguo.	28
3.6	Exemplos de padrões de varredura.	30
3.7	Exemplos de escaneamento linear, bidimensional e tridimensional . . .	31
3.8	Escaneamento de Huffman.	31
3.9	Sistema com inicialização manual	32
3.10	Varredura para diferentes números de iterações.	33
3.11	Tipos de reinicialização de escaneamento.	33
3.12	Exemplo de inversão do sentido do escaneamento.	34
3.13	Interrupção de varredura ao selecionar o botão de parar	34

3.14 O escaneamento é repetido em um dado nível ao selecionar o botão de repertir	35
3.15 Escaneamento retorna para o nível anterior ao selecionar o botão de saída	35
3.16 Exemplo de um teclado virtual com atraso de inicialização	36
3.17 Sistema com sugestão de palavras	37
3.18 Sequência de ações realizadas para a seleção da tecla 6 de um teclado virtual bidimensional com dimensões 3x3	38
3.19 Mapa de distribuição do tempo de acesso para cada tecla de uma matriz bidimensional	41
4.1 Edith: Módulo principal.	47
4.2 Edith: Módulo teclado virtual.	47
4.3 Sequência de ações para a seleção da tecla V	48
4.4 Possíveis ações para uma interação com um sistema de MAE do tipo linear.	50
4.5 Sequência de eventos do módulo de experimentos	53
4.6 Exemplos de ações que o usuário pode realizar durante a interação com o sistema	55
4.7 Classificações das ações	55
4.8 Módulo de experimentos do <i>software</i> EDITH.	57
4.9 Usuário utilizando o sistema	57
4.10 Módulo de configurações	58
4.11 Módulo de processamento de dados: Filtros	59
4.12 Módulo de processamento de dados: Categorias	59
4.13 Módulo de processamento de dados: Resultados	59
5.1 Arranjo de caracteres do sistema TIC.	65
5.2 Arranjos de teclas de diferentes teclados.	68
5.3 Diferença entre os arranjos de teclas	70
5.4 Análise 1: Comparação entre os diferentes arranjos de teclas.	74
5.5 Arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa.	75
6.1 Teclado com atraso de recuperação com <i>feedback</i> visual.	83

6.2	Distribuição dos participantes entre os grupos	85
6.3	Análise 1: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação utilizando <i>feedback</i> visual com o teclado padrão a uma mesma velocidade de varredura	86
6.4	Análise 2: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação utilizando <i>feedback</i> visual com o teclado padrão em diferentes velocidades de varredura	87
6.5	Análise 3: Comparação entre os diferentes arranjos de teclas em um teclado com atraso de recuperação utilizando <i>feedback</i> visual	88
6.6	Detalhe das variáveis que apresentaram diferença estatisticamente significativa na análise 2	92
6.7	Análise temporal do comportamento do usuário entre a seleção dos elementos e_i e e_j	96
6.8	Análise temporal do comportamento do usuário entre a seleção dos elementos e_i e e_j em um teclado com atraso de recuperação com <i>feedback</i> visual.	97

Lista de Tabelas e Quadros

2.1	Métodos de ativação	20
3.1	Sequência de teclas pressionadas para a escrita da palavra <i>sword</i>	29
4.1	Descrição das classes durante a interação entre o usuário e o sistema .	56
4.2	Configurações do sistema	56
5.1	Exemplo de palavras do Corpus Opus2-Br	67
5.2	Descrição e origem dos arranjos de teclas da figura 5.2	67
5.3	Informações dos corpus linguísticos	68
5.4	Informações sobre as sentenças para transcrição do experimento	70
5.5	Taxas de escaneamento	71
5.6	Probabilidade de ocorrência dos caracteres em um corpus da língua portuguesa (Opus2-Br - Sketch Engine)	75
5.7	Desempenho dos teclados em diferentes corpus	76
5.8	Resultados da tarefa de transcrição com $\tau_{SR} = 600$ ms	77
5.9	Resultados da tarefa de transcrição com $\tau_{SR} = 800$ ms	77
5.10	Análise estatística: Comparação entre os arranjos L1 e L2 com $\tau_{SR} = 600$ ms	78
5.11	Análise estatística: Comparação entre os arranjos L1 e L2 com $\tau_{SR} = 800$ ms	78
6.1	Resultados da tarefa de transcrição com $T_{SR} = 600$ ms	89
6.2	Resultados da tarefa de transcrição com $T_{SR} = 800$ ms	89
6.3	Análise estatística da comparação entre os grupos G1 e G2, com $T_{SR} = 600$ ms	90

6.4	Análise estatística da comparação entre os grupos G1 e G2, com $T_{SR} = 800ms$	90
6.5	Análise estatística da comparação entre os grupos G1 ($T_{SR} = 800ms$) e G2 ($T_{SR} = 600ms$)	91
6.6	Análise estatística da comparação entre os arranjos L1 e L2, utilizando o teclado com teclas adicionais, com $T_{SR} = 600 ms.$	93
6.7	Análise estatística da comparação entre os arranjos L1 e L2, utilizando o teclado com teclas adicionais, com $T_{SR} = 800 ms.$	93

Lista de Abreviaturas e Siglas

AVE	Acidente Vascular Encefálico
CAA	Comunicação Aumentativa e Alternativa
CNC	Complexas Necessidades de Comunicação
CPM	Caracteres por Minuto
DMS	Disfunção Motora Severa
ELA	Esclerose Lateral Amiotrófica
EM	Esclerose Múltipla
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Deficiência e Saúde
MHP	Model Human Processor
MPT	Modelo para escolha de tecnologias de comunicação aumentativa e alternativa para indivíduos com complexas necessidades de comunicação
MRL	Métodos de Representação de Linguagem
OMS	Organização Mundial da Saúde
PC	Paralisia Cerebral
SGB	Síndrome de Guillain-Barré
TAC	Tecnologias de Acesso à Comunicação

TEA	Transtorno do Espectro Autista
TER	Taxa de comunicação ou taxa de entrada de texto
WPM	Palavras por Minuto

Parte I

Introdução geral

Capítulo 1

Introdução

A comunicação é a própria essência do ser humano [1]. É uma componente primordial da interação humana e do processo de aprendizagem. Para um adulto saudável que sempre se expressou sem dificuldades desde a sua infância, a perspectiva de ser incapaz de se comunicar por meio da fala é algo intangível. A comunicação que é estabelecida entre pessoas saudáveis é tida como um processo natural e previsível. No entanto a relevância dessa atividade não deve ser relegada a uma tarefa de pouca importância [2] [3]. Indivíduos que perderam a capacidade de se comunicar ao longo de suas vidas, diferentemente de pessoas saudáveis, possuem formas contrastantes de interagir com o mundo. Sem acesso a uma comunicação eficaz, indivíduos com complexas necessidades de comunicação (CNC) são confinadas a uma vida com poucas condições de: (1) expressarem suas vontades e desejos; (2) trocarem informações com outras pessoas e; (3) desenvolverem relações sociais [4].

A comunicação aumentativa e alternativa (CAA) é uma área de prática clínica que lida com os problemas de comunicação de pessoas com CNC. A CAA fornece suporte para o desenvolvimento das competências comunicativas desses indivíduos, por meio de uma ampla gama de técnicas, estratégias e tecnologias [1]. A partir dela viabiliza-se a interação com outras pessoas, permitindo ao seu usuário condições para influenciar o contexto social no qual encontra-se inserido e consequentemente exercer papel ativo na sociedade [5] [6]. As abordagens de CAA podem variar entre métodos auxiliados e não auxiliados. Os métodos não-auxiliados baseiam-se em linguagem de sinais, expressões faciais, gestos e vocalizações não-simbólicas. Já os métodos auxiliados necessitam de dispositivos externos para promover a comunicação, tais como placas

de comunicação com símbolos, sintetizadores de fala e softwares de comunicação [7].

Via de regra, as soluções de CAA são prescritas por profissionais especializados (fonoaudiólogos, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais, engenheiros de reabilitação) de acordo com as habilidades e necessidades da pessoa com CNC [8]. A avaliação das necessidades de um potencial usuário e a instalação dos recursos e estratégias apropriadas para o mesmo são aspectos significativos para o sucesso de uma intervenção em CAA [9] [10]. No entanto, essas intervenções são complexas devido a: (1) heterogeneidade da população de pessoas que utilizam este tipo de tecnologia; (2) a complexidade dos dispositivos de acesso a comunicação e; (3) a própria natureza complexa do processo de comunicação [11]. A prescrição de uma solução de CAA, quando não é realizada por um profissional capacitado, pode negligenciar características essenciais do problema, e, consequentemente, comprometer o desempenho da solução de comunicação proposta [8].

Para que uma pessoa com disfunção motora severa (DMS) utilize alguma tecnologia de acesso à comunicação da maneira mais eficiente possível, é necessário identificar o tipo de interface mais apropriada para atendê-lo [12]. Uma componente importante dessa avaliação é determinar se o cliente utilizará seleção direta ou escaneamento para interagir com o dispositivo de comunicação. Seleção direta refere-se a uma modalidade de interfaceamento na qual o usuário indica diretamente um dado objeto a ser selecionado, através de periféricos como teclados, apontadores, mouses, entre outros [13]. No escaneamento cada uma das opções para seleção são disponibilizadas individualmente, de forma sequencial, e a sua seleção é realizada por dispositivos de acesso como sensores mecânicos, eletromagnéticos, elétricos, pneumáticos, sonoros, de proximidade e fisiológicos [1] [13] [14].

Embora sistemas de seleção direta sejam mais rápidos e possuam menor carga cognitiva em comparação aos sistemas de escaneamento, o nível de controle motor exigido por esse último tipo de interfaceamento é menor [14] [15]. A simples forma de interação no escaneamento é o que torna esse tipo de interface mais comum entre usuários de tecnologias de CAA. A sua principal desvantagem é sua baixa taxa de comunicação: em torno de 15 caracteres por minuto (CPM - *Characters per minute*) para iniciantes e de até 8 palavras por minuto (WPM - *Words per minute*) para usuários que fazem uso de recursos avançados [16] [17]. Uma vez que esse tipo de interface

é escolhida como solução, é fundamental que a abordagem possibilite o máximo de eficiência durante a comunicação e que gere o mínimo de fadiga e frustração ao cliente [12].

Uma das práticas de sistemas de escaneamento utilizados por pessoas com DMS para comunicação é o teclado virtual [18]. Também designado pelos termos *virtual scanning keyboard* e *soft keyboards*, o teclado virtual é composto por teclas, dispostas em uma estrutura matricial que simula a operação de um teclado físico comum. De acordo com o método de representação de linguagem do sistema, as suas teclas podem conter letras, números, símbolos, palavras ou frases [8]. O teclado virtual possui um mecanismo de varredura automático, no qual cada conjunto de teclas é realçado sequencialmente. Quando a tecla desejada encontra-se em destaque, o usuário realiza a sua seleção através de um dispositivo de ativação (*switch*) [19].

Diferentes elaborações de teclados virtuais de varredura foram exploradas por pesquisadores nas últimas décadas. As variações dessas características - disposição das teclas, arranjo dos conteúdos das teclas, navegação da varredura, temporização, entre outras - têm impacto direto na taxa de comunicação do sistema de escaneamento [17]. Conhecer o efeito causado por cada uma dessas características é fundamental para o ajuste apropriado das configurações de um sistema.

Damper (1984) apresentou um modelo de previsão da taxa de comunicação, baseado no arranjo de teclas do teclado e na probabilidade de ocorrência das letras do contexto linguístico no qual o sistema seria aplicado. De acordo com o modelo proposto, teclados otimizados para um dado idioma possuem taxas de comunicação maiores em relação a teclados com layout alfabético ou do tipo QWERTY [20]. Nesse trabalho, o teclado com arranjo de teclas otimizado foi construído para a língua inglesa [21]. O trabalho de Venkatagiri (1999) comparou a eficiência e a taxa de comunicação de oito configurações distintas de teclados virtuais através de simulações computacionais. As configurações variavam: (1) no arranjo de teclas; (2) nas dimensões matriciais; (3) na quantidade de caracteres por tecla e; (4) no padrão de escaneamento. Um dos achados do estudo foi que teclados com varredura bidimensional (linha/coluna) possuem maior taxa de comunicação do que os teclados com varredura linear [22]. Lesher *et al* (1998) realizaram uma série de experimentos computacionais para comparar o desempenho de 14 configurações distintas de teclados de varredura. As possibilidades

de configurações incluíam: (1) otimização do arranjo de teclas; (2) previsão de caracteres ou letras; (3) rearranjo dinâmico das teclas ou; (4) combinação de diferentes recursos. De forma semelhante ao trabalho anterior, os autores também constataram que o teclado com padrão de varredura bidimensional e com arranjo de teclas baseado na frequência de caracteres de um idioma, apresentaram melhor desempenho [23].

A variação métrica existente entre as taxas de comunicação de cada uma dessas pesquisas impossibilita a comparação de desempenho entre configurações de teclados de diferentes trabalhos. Mackenzie (2012) propôs um método para modelar a taxa de comunicação produzida por diferentes sistemas de escaneamento, viabilizando a análise entre configurações de diferentes estudos [24]. Embora forneçam uma orientação importante na escolha de algumas configurações de um teclado virtual, os estudos de Damper, Venkatagiri, Lesher e Mackenzie possuem certas limitações. Esses estudos desconsiderarem a interferência de variáveis práticas tais como os erros cometidos por usuários ou as estratégias de correção adotadas pelo mesmo. A influência dos erros de usuários nos sistemas de escaneamento foi explorado em alguns experimentos práticos.

Bhattacharya *et al* (2008) realizaram experimentos de transcrição com seis participantes com DMS (quatro diagnosticados com paralisia cerebral, um com esclerose múltipla e um com ataxia de Friedreich) [25] [26]. Os indivíduos deveriam selecionar as teclas de acordo com a sequência de caracteres apresentada durante o experimento. Os autores destacaram a ocorrência de dois tipos de erros no estudo: erros de sincronia (o usuário falhava em acionar o *switch* de ativação) e erros de seleção (o usuário selecionava o elemento incorreto), responsáveis por aumentar a duração da tarefa em até 65% e 35%, respectivamente.

Baseado nos resultados de seus experimentos e nos modelos de interação proposto por Keates *et al* (2000), os autores apresentaram uma análise temporal acerca do comportamento do usuário durante a seleção de duas teclas [27]. A partir dessa análise, os autores desenvolveram um modelo de transição de estados do comportamento do usuário, para explicar a ocorrência dos erros de sincronia. Os erros de sincronia podiam ser explicados pelas seguintes justificativas: (1) o tempo para o usuário se recuperar da última seleção, preparar e agir para o próximo alvo era maior que o tempo em que a tecla alvo encontra-se disponível; (2) longas esperas podem levar o

usuário a um estado de desatenção, uma vez que ele não consegue manter a atenção em uma fonte de estímulo visual por qualquer período de tempo [25].

Em outro estudo, Mankowski *et al* (2012), cinco usuários de sistemas de escaneamento, diagnosticados com paralisia cerebral, executaram a transcrição de textos utilizando um teclado virtual [17]. O sistema de escaneamento em questão possuía um padrão de varredura bidimensional(linha-coluna). Um dos achados do estudo foi que os alvos localizados na primeira linha apresentaram maior incidência de erros quando comparados com teclas de outras regiões da matriz. Os autores justificam esse fato pela ausência de um atraso de recuperação (*recovery delay*).

O atraso de recuperação trata-se de um recurso no qual o teclado possui um atraso no início do ciclo de varredura (na primeira linha ou coluna) com o objetivo de proporcionar tempo adicional para que o usuário se recupere da seleção anterior [28]. Embora o objetivo desse recurso seja de reduzir os erros de sincronia de alvos localizados no início da matriz, Mankowski *et al* observaram que o atraso de recuperação aumentou a ocorrência de erros para dois participantes do estudo [17]. A hipótese apresentada é que a reação desses usuários foi de antecipar a ativação do *switch*, levando a uma seleção precoce.

1.1 Motivação

A maioria dos sistemas de escaneamento disponíveis comercialmente utilizam arranjos de teclas baseado nos padrões: (1) QWERTY; (2) sequência alfabética ou; (3) de acordo com a frequência dos caracteres da língua inglesa [20]. Nesse sentido, a construção de um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa poderá beneficiar os usuários que têm o português como língua nativa, uma vez que os estudos sobre os arranjos de teclas indicam que a otimização para um dado contexto possibilita o aumento da taxa de comunicação.

Outra questão diz respeito à ocorrência dos erros de sincronia durante a seleção de teclas. Esses erros são mais prováveis de ocorrer quando o usuário não realiza uma recuperação adequada entre a seleção de teclas, especialmente quando o próximo alvo envolve a seleção de itens localizados no início da matriz. O recurso de atraso de recuperação, embora seja uma possibilidade para resolver esses problemas, pode

ocasionar um aumento da taxa de erros, de acordo com a reação do usuário. Uma hipótese é que o atraso de recuperação padrão não fornece uma noção temporal a respeito da varredura. Dessa maneira, o usuário possui dificuldades em sincronizar sua ação com a ritmidade do escaneamento. Sendo assim, se o sistema fornecer uma forma de *feedback* ao usuário, espera-se que o mesmo seja capaz de selecionar o alvo de forma apropriada.

1.2 Objetivos específicos

- Construir um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa a partir de um corpus linguístico apropriado.
- Analisar computacionalmente a diferença entre o arranjo proposto com outros arranjos existentes em diferentes contextos.
- Avaliar o desempenho do arranjo proposto em um experimento com participantes saudáveis.
- Propor um novo método para o atraso de recuperação, utilizando *feedback* visual.
- Avaliar o desempenho do atraso de recuperação em um experimento com participantes saudáveis.

1.3 Hipóteses

Hipótese 1: Teclado com arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa

Um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa apresentará aumento na taxas de comunicação (TER) e na taxa de acerto (HR), e redução nas probabilidades de erros de seleção ($P(\varepsilon_S)$) e de erros de sincronia ($P(\varepsilon_T)$) em uma tarefa de transcrição de sentenças, quando comparado a arranjos com diferentes configurações.

Hipótese 2: Teclado com tempo de recuperação, utilizando feedback visual

O uso do recurso de tempo de recuperação utilizando *feedback* visual, obtido através da inserção de teclas adicionais no início da matriz, promoverá aumento na taxa

de comunicação (TER) e na taxa de acerto (HR), e redução nas probabilidades de erros de seleção ($P(\varepsilon_S)$) e de erros de sincronia ($P(\varepsilon_T)$) em uma tarefa de transcrição de sentenças, quando comparado a um teclado sem o uso do mesmo recurso.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação é composta por 5 partes: i) introdução geral; ii) revisão bibliográfica; iii) desenvolvimento da plataforma para experimentos; iv) estudos para investigação das hipóteses; v) conclusões gerais.

A primeira parte é composto por este capítulo introdutório, no qual é apresentado o contexto em que a pesquisa foi realizada, a relevância do assunto discutido, os objetivos almejados e as hipóteses do estudo.

A segunda parte, composta pelos capítulos 2 e 3, é destinada para a revisão bibliográfica. Nessa parte é apresentada e analisada a fundamentação teórica relevante para o tema da investigação conduzida neste trabalho. O capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica acerca do assunto de comunicação aumentativa e alternativa. Nele, são abordados questões relacionadas às tecnologias existentes e análises do ponto de vista de desenvolvedores e de usuários. O capítulo 3 apresenta uma revisão sistemática sobre os métodos de acesso por escaneamento, as características de sistemas de escaneamento e modelos para cálculo da taxa de comunicação.

A terceira parte é composta pelo capítulo 4, que por sua vez apresenta o desenvolvimento de uma plataforma de experimentos a partir de um software de CAA com MAE, plataforma essa utilizada para a execução dos experimentos realizados nesse trabalho. Os demais capítulos são divididos de acordo com as hipóteses exploradas neste trabalho.

A quarta parte está relacionada com as hipóteses a serem investigadas nesse estudo. Ela é composta por dois capítulos: os capítulos 5 e 6.

O capítulo 5 explora o desenvolvimento de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa. Nele é apresentada uma análise computacional do desempenho desse arranjo em comparação com diferentes arranjos existentes na literatura, em diversos contextos linguísticos. Em seguida é descrita a realização de um experimento, onde participantes saudáveis utilizam a plataforma desenvolvida para

executar tarefas de transcrição de textos da língua portuguesa. O objetivo desse experimento é verificar a hipótese de que um arranjo de teclas da língua portuguesa apresenta melhor desempenho em comparação com outro arranjo da literatura.

O capítulo 6 explora a hipótese que investiga o atraso de recuperação com *feedback* visual em teclados de varredura. Nele discute-se o impacto dos erros de usuários no desempenho de sistemas de CAA e apresenta uma proposta de método de atraso de recuperação, em que se utiliza *feedback* visual. Em seguida é descrita a realização de um experimento em que participantes saudáveis realizam tarefas de transcrição. O objetivo desse experimento é verificar a hipótese de que o recurso de atraso de recuperação com *feedback* visual reduziria os erros dos usuários e, consequentemente, aumentaria a taxa de comunicação de um sistema de escaneamento.

A quinta e última parte é composta pelo capítulo 7, que por sua vez apresenta as conclusões finais do trabalho e as possibilidades de pesquisas no futuro.

Parte II

Revisão bibliográfica

Capítulo 2

Comunicação aumentativa e alternativa

De acordo com o censo demográfico realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existem no Brasil mais de 1.3 milhões de pessoas com deficiência motora, o que equivale a aproximadamente 7% da população brasileira. Desse grupo de indivíduos, 66.6% possuem alguma dificuldade motora, 27.9% tem grande dificuldade motora e os 5.5% restantes são incapazes de executar qualquer ação motora [29].

Paralisia cerebral (PC), distúrbios neurológicos progressivos como esclerose múltipla (EM), esclerose lateral amiotrófica (ELA) e síndrome de Guillain-Barré (SGB), acidente vascular encefálico (AVE), lesões da medula espinal e condições genéticas específicas como a Ataxia de Friedreich, são algumas das condições que podem levar uma pessoa a um quadro de DMS. Em alguns casos, o comprometimento motor é tão grave a ponto de impossibilitar qualquer forma de comunicação promovida por ações motoras, ainda que a capacidade cognitiva do indivíduo permaneça intacta. A essa condição atribui-se a expressão Síndrome do Encarceramento [30].

O uso de tecnologias de acesso à comunicação (TAC) é uma das estratégias utilizadas para que pessoas, que se encontram nessas condições, possam se comunicar de forma efetiva.

Área de prática clínica e educacional, a CAA refere-se a um grupo de estratégias e técnicas que fornecem suporte para o estabelecimento de comunicação funcional e efetiva para pessoas que possuem CNC [5] [31] [32]. Um dos seus objetivos principais

é o de minimizar a separação existente entre indivíduos, que possuem limitação para se comunicar de forma plena e a sociedade, por meio de novas oportunidades de interações sociais e de integração social [3] [33] [34].

A relação entre o uso de CAA e o progresso da qualidade de vida de seus usuários foi evidenciada em uma série de publicações científicas. Essa relação foi observada em: (1) crianças de até 32 meses [35]; (2) adultos com ELA [36] [37]; (3) crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA) [38]; (4) adolescentes e adultos com deficiências de desenvolvimento [39]; (5) adultos com afasia ou outras condições neurológicas adquiridas [40] [41]; (6) assim como nos familiares de indivíduos com CNC [42].

O desenvolvimento de serviços de apoio para pessoas com CNC e suas intervenções podem ser categorizadas de acordo com a dependência de componentes externos como método de comunicação (sistemas de CAA não-auxiliados/ auxiliados) ou com o nível tecnológico dos recursos empregados (baixa / alta tecnologia) [8].

2.1 Intervenções em CAA

Desde a década de 1950 são realizadas intervenções clínicas para o tratamento de pessoas com afasia. Entretanto, tal prática tem sido evidenciada nas últimas três décadas, em decorrência dos avanços tecnológicos ocorridos nesse mesmo período [43] [44]. A CAA surgiu nas décadas de 1950 e 1960 como uma ferramenta de auxílio à comunicação para indivíduos com deficiências e que por sua vez não desenvolveram as habilidades de comunicação tradicionais, tais como a escrita e a fala [3].

Pessoas com CNC estão entre as populações mais vulneráveis do mundo no que tange aos cuidados prestados a saúde. Elas são particularmente mais susceptíveis de serem isoladas da sociedade [3]. Tal fato ocorre não apenas em decorrência das condições impostas pela própria deficiência em si, mas também porque a maioria dos profissionais de saúde não estão capacitados para se comunicarem adequadamente com esses pacientes [45] [46] [47] [48]. A limitada comunicação dentro do contexto clínico está associada com a menor qualidade de atendimento, redução da satisfação do paciente e com o aumento da incidência de eventos adversos [49].

Em um estudo que observou a comunicação de dez adultos com CNC, diagnosticados com PC, dentro de um ambiente hospitalar, Balandin *et al* identificaram que os

problemas de comunicação desses indivíduos poderiam ser prevenidos ou reduzidos se (1) as enfermeiras do hospital tivessem conhecimento e habilidades em CAA e se (2) o hospital dispusesse de uma maior variedade de TAC [45]. Estratégias, ferramentas e tecnologias em CAA possibilitam facilidades na comunicação não apenas para pessoas com DMS mas também para pessoas com outros impecílios de comunicação, como por exemplo: (1) atrasos no desenvolvimento da linguagem; (2) TEA e; (3) condições médicas temporárias (por exemplo, traqueostomia) [50].

Embora existam atualmente diversos produtos comerciais disponíveis em comunicação alternativa, a escolha da solução adequada não deve ser realizada de qualquer maneira. Negligenciar uma avaliação detalhada dos requisitos de um potencial usuário e das características das ferramentas disponíveis, pode comprometer o desempenho da solução [8].

As intervenções nesse campo são tidas como uma tarefa de alto nível em decorrência dos seguintes fatores: (1) heterogeneidade da população de pessoas com CNC; (2) complexidade e especificidade dos sistemas de CAA e; (3) natureza complexa do processo de comunicação [11]. Essas atividades devem ser realizadas por pessoas capacitadas em CAA. Entretanto, observa-se que existem pontos divergentes entre as abordagens desses profissionais. Uma solução para esse problema é o emprego de um modelo de avaliação sistemática, que integre evidências clínicas, externas e pessoais [51].

A Classificação Internacional de Funcionalidade, Deficiência e Saúde (ICF - *International Classification of Functioning, Disability, and Health*), proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS), é uma plataforma com linguagem padrão para a descrição de componentes de saúde, funcionalidade e incapacidade [52]. A partir dessa plataforma foi desenvolvido um modelo para escolha de tecnologias de CAA para indivíduos com CNC (MPT - *Matching Persons and AAC Technology*).

O MPT é composto por um conjunto de medidas centradas no usuário, que examinam perspectivas relatadas pelo mesmo a respeito de suas capacidades, necessidades, metas, preferências, características psicossociais e dos benefícios esperados pelo uso da tecnologia indicada [53]. Identificar e definir o conjunto de características de um sistema de comunicação são fatores críticos para atender às necessidades de pessoas que dependem de CAA e por fim alcançar os resultados de longo prazo es-

perados pela ICF [54]. O modelo é dividido em componentes primários, secundários e terciários, conforme apresentado na figura 2.1.

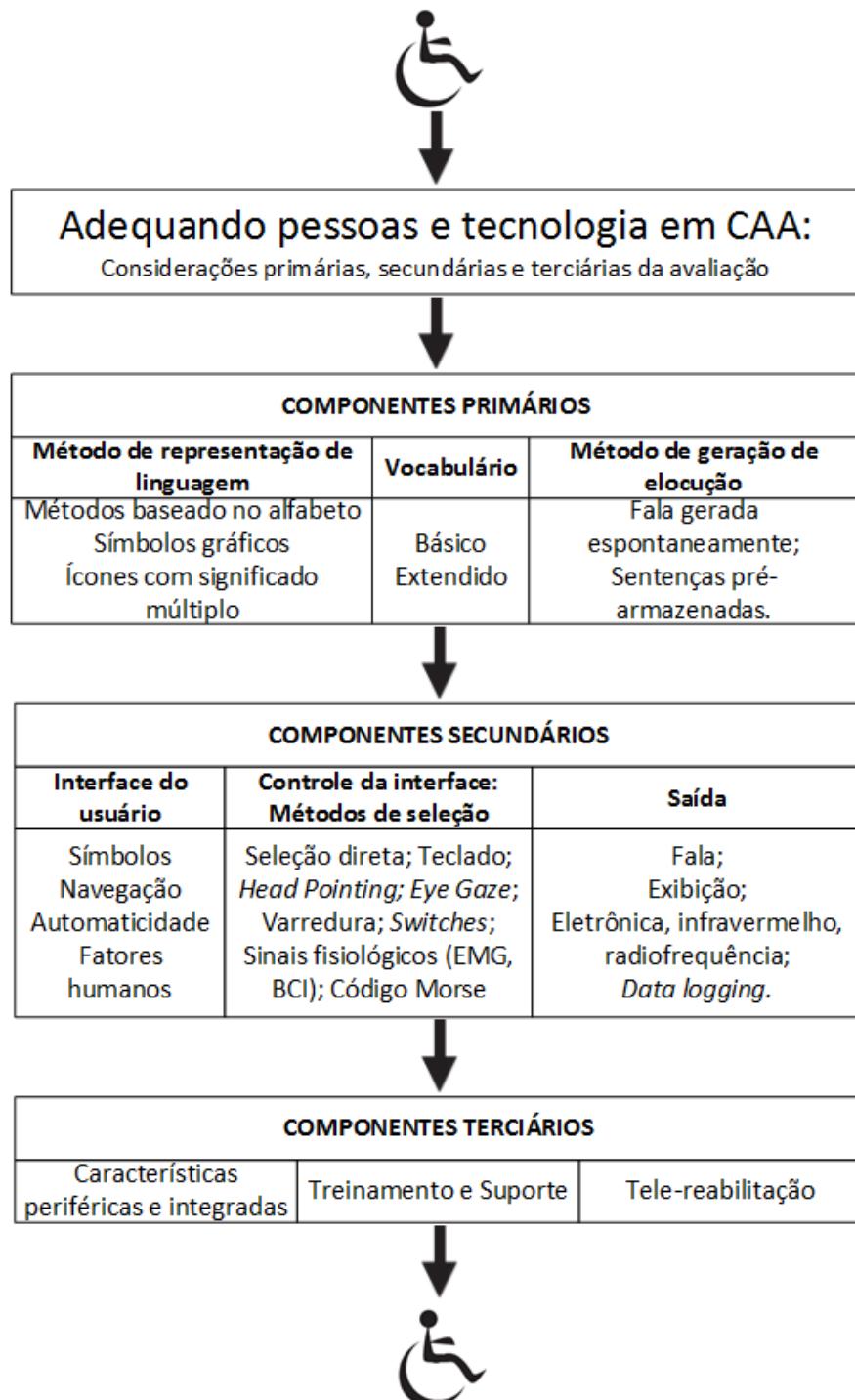


Figura 2.1: Componentes do método para escolha de tecnologias CAA para usuários com CNC. Adaptado de [8].

2.2 Componentes primários em CAA

Os componentes primários estão relacionados com a maneira com que o sistema pode realizar as funções de linguagem natural [8]. O desempenho da linguagem é influenciado pelos métodos de representação de linguagem (MRL), pela seleção e organização do vocabulário e pelo método de construção de mensagens e fala [55].

2.2.1 Métodos de representação de linguagem

Considerando a grande variedade de sistemas de CAA existentes, observa-se que todos esses sistemas possuem suporte para até três MRL: método baseado no alfabeto, símbolos gráficos com significado único e símbolos gráficos com significado múltiplo. Esses três MRL podem estar disponíveis individualmente ou combinados simultaneamente, dependendo do aplicativo/dispositivo de CAA [8].

Método baseado no alfabeto

O MRL baseado no alfabeto envolve o uso de ortografia tradicional e de técnicas de aceleração. Para o emprego desse método, o usuário deve ser alfabetizado, uma vez que são necessárias habilidades de ortografia e leitura. O indivíduo seleciona itens em um teclado tradicional (caracteres ou palavras) para inserir texto e gerar uma mensagem. Predição de palavras é uma técnica de aceleração disponível em alguns sistemas com MRL baseado no alfabeto [55]. De acordo com as seleções anteriores de letras e palavras, o sistema oferece ao usuário as sugestões mais prováveis de serem selecionadas, reduzindo o número de ações e o tempo para a composição de um texto.

Símbolos gráficos com significado único

O MRL baseado em símbolos gráficos com significado único envolve o uso de símbolos gráficos ou de linhas desenhadas para representar uma palavra ou uma mensagem (frases, sentenças, parágrafos). Um aspecto vantajoso desse método é que o usuário não precisa ser alfabetizado para utilizá-lo. Entretanto, uma desvantagem desse método é a necessidade de um grande conjunto de símbolos para a represen-

tação de um vocabulário básico [55]. Os símbolos podem ser representados por fotos, desenhos, cores ou animações. Uma variedade de dispositivos/softwares disponíveis comercialmente, oferecem diferentes conjuntos de símbolos gráficos com finalidade de representação de linguagem.

Símbolos gráficos com significado múltiplo

O MRL baseado em símbolos gráficos com significado múltiplo envolve o emprego de símbolos gráficos, tal como o método anterior. Entretanto, nesse método, os símbolos são acessados de forma sequencial para a composição de mensagens específicas [8]. A figura 2.2 apresenta a composição de mensagens com um conjunto de símbolos gráficos. Observa-se que diferentes símbolos possibilitam a composição de mensagens distintas.

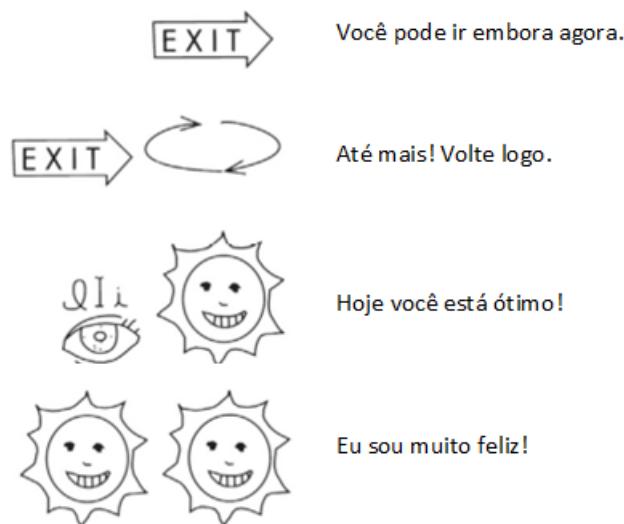


Figura 2.2: Exemplos de sequência de símbolos para a construção de mensagens do Minspeak. Adaptado de [1].

2.2.2 Seleção e organização do vocabulário

A determinação das características do vocabulário a ser utilizado em um sistema de CAA baseia-se na frequência das palavras de uma língua. Essas palavras de altas frequências utilizadas em conversas padrões (de 450 a 500 palavras) representam de 80 a 85% das palavras utilizadas em amostras de conversas, independente do assunto

do diálogo [56] [8]. Vocabulários expandidos, compostos por milhares de palavras, representam apenas de 15 a 20% das palavras utilizadas em uma conversa. Alguns dos sistemas mais eficientes em CAA permitem a busca de palavras em bancos de dados de vocabulários com o intuito de acelerar a sua taxa de comunicação [8].

2.2.3 Construção de mensagens e fala

O método de construção de mensagens e fala é o terceiro componente de linguagem que afetam o desempenho de um sistema CAA. A construção de mensagens pode acontecer de duas maneiras: de maneira espontânea ou pré-armazenadas.

Na forma espontânea (SNUG - *Spontaneous Novel Utterance Generation*), o usuário utiliza cada palavra individualmente para a construção de uma mensagem, de forma análoga ao processo de comunicação padrão observado nas atividades cotidianas [57].

O uso de mensagens pré-armazenadas é uma alternativa à construção de mensagens de forma espontânea, possibilitando a produção de informação com maior velocidade. Entretanto a comunicação estabelecida por esse método possui limitações uma vez que as frases pré-estabelecidas não correspondem integralmente à informação que o usuário deseja transmitir.

2.3 Componentes secundários em CAA

Os componentes secundários estão relacionados com as características intrínsecas do sistema (interface, método de controle, dados de saída).

2.3.1 Interfaces

Embora existam diferentes técnicas para que um indivíduo com necessidades complexas de comunicação possa controlar uma interface, essas variações podem ser consideradas derivações de três abordagens básicas: seleção direta, codificação e escaneamento [58].

Seleção direta

A abordagem por seleção direta é definida como qualquer técnica na qual a opção desejada (alvo) é indicada diretamente pelo usuário. Em dispositivos de seleção direta existe um sensor para cada escolha possível.

Codificação

A definição formal para codificação pode ser descrita como qualquer técnica ou auxílio no qual a opção desejada (alvo) é indicada por um padrão ou código de sinais enviados. Estes precisam ser memorizados ou referenciados pelo usuário. Um sistema de auxílio à comunicação operado por codificação pode ser composto por mais de um dispositivo de entrada. O código gerado pode envolver a ativação dos dispositivos sequencialmente ou simultaneamente [58]. Um exemplo de técnica utilizando a abordagem de codificação é o código morse.

Escaneamento

De acordo com Vanderheiden (1976), o interfaceamento por varredura pode ser descrito como qualquer técnica em que as ações (frases, palavras, caracteres, imagens) são oferecidas sequencialmente a um usuário. As opções podem ser disponibilizadas através de uma tela de comunicação ou por terceiros. Dependendo das características do sistema, o usuário pode sinalizar ou enviar um comando de ativação para selecionar a escolha desejada [58].

2.3.2 Métodos de controle

Refere-se à técnica utilizada para realizar a seleção de componentes presentes na interface do usuário. Uma das principais dificuldades encontradas na busca de um dispositivo de tecnologia assistiva bem adaptado é que o processo de seleção é fortemente influenciado pelas necessidades específicas do usuário, que, por sua vez, tem um impacto no tipo de sensor a ser utilizado [59]. Tecnologias utilizadas para interpretar as intenções de um indivíduo com deficiência física grave em interações funcionais (comunicação, controle ambiental) são referidas como tecnologias de acesso [60].

A figura 2.3 apresenta os componentes técnicos (tecnologia para acesso e a interface para interação) de uma solução de acesso. A intenção funcional do usuário é manifestada por movimentos físicos ou mudanças fisiológicas que por sua vez são adquiridos e processados por um sistema. O sinal processado é utilizado para controlar uma interface que executa funções específicas do ambiente do usuário.

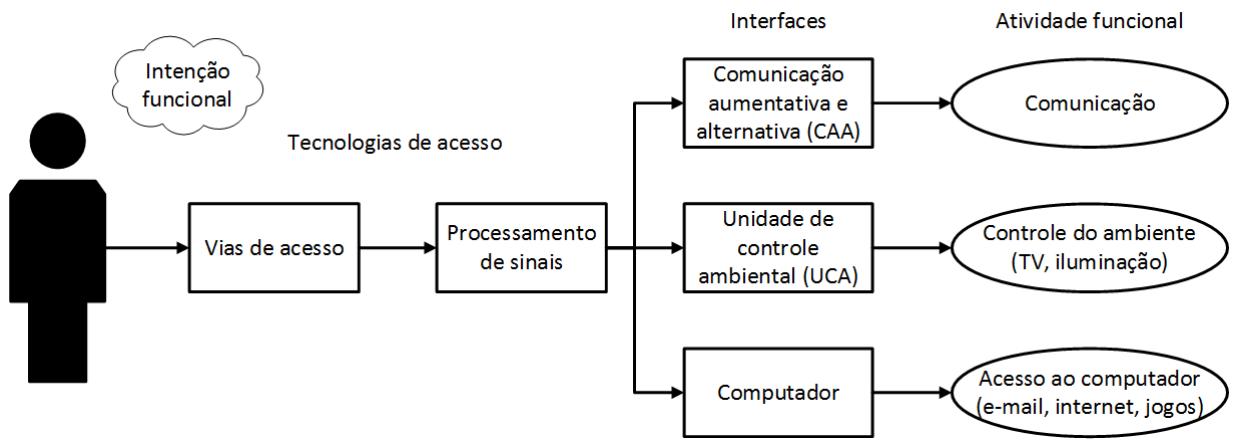


Figura 2.3: Solução de acesso (Adaptado de [60]).

As tecnologias de acesso podem ser categorizadas a partir da habilidade dos movimentos físicos que um indivíduo possui [60]. Quando o usuário consegue realizar movimentos físicos observa-se a especificidade do tipo de movimento (Figura 2.4). O movimento pode ser executado em um algum local abaixo do pescoço (movimento parcial dos membros superiores ou inferiores) ou apenas com movimentos acima do pescoço (rastreamento dos olhos, movimento do pescoço, contração da musculatura facial).

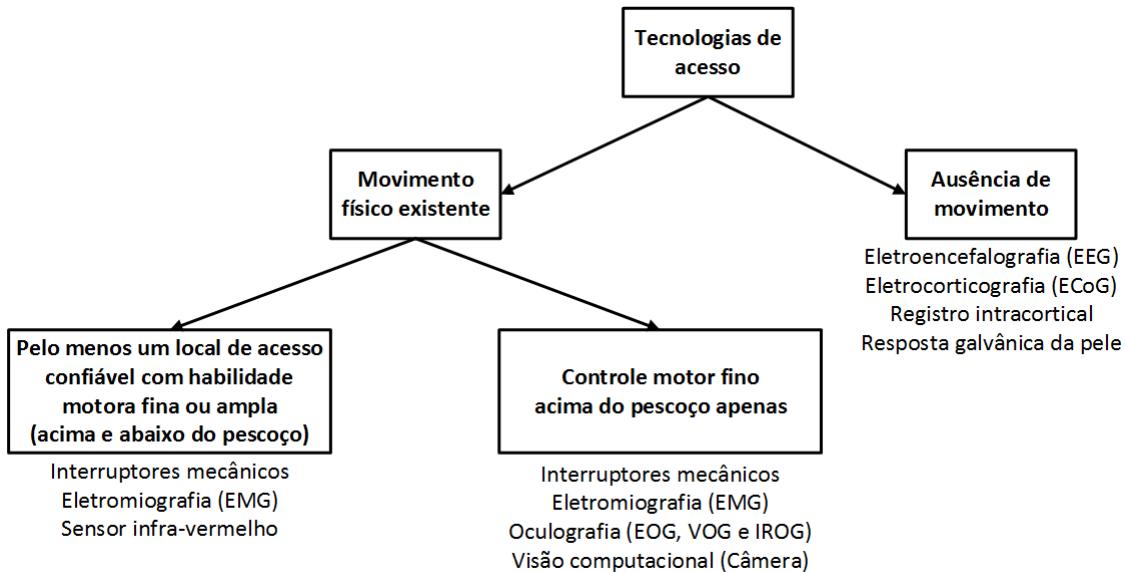


Figura 2.4: Categorias de tecnologias de acesso a partir do nível dos movimentos físicos do usuário. Adaptado de [60].

A tabela 2.1 apresenta alguns exemplos de métodos de ativação de acordo com o tipo de sinal a ser utilizado.

Tabela 2.1: Métodos de ativação. Adaptado de [1].

Sinal	Tipo	Exemplos
Movimento	Mecânico	Joysticks, teclados
	Eletromagnético	Apontadores de luz, transmissores de rádio
	Elétrico	Sensores capacitivos, touchscreen
	Fisiológico	EMG, EOG
	Proximidade	Detectores de calor, câmera
Respiração	Pneumático	Sip and puff
Fonação	Sonoro / Fala	Sensores sonoros, apitos, reconhecimento de fala
Atividade cerebral	EEG	BMI

2.3.3 Métodos de saída de dados

As informações geradas em um sistema de CAA possuem variações com relação à maneira como são transmitidas ao meio externo. Mensagens podem ser exibidas em um monitor ou podem ser vocalizadas através de sistemas específicos. Alguns softwares possuem sintetizadores de voz capazes de reproduzir a voz humana, fornecendo uma alternativa para indivíduos incapazes de produzir fala natural [61].

Alguns bancos de dados possibilitam a reprodução de vozes com variações de gênero, idade e idioma. Entretanto, observa-se uma limitação com relação ao nível de personalização que esses sistemas de vocalização possibilitam aos seus usuários, de forma que muitos desses utilizam sistemas com as mesmas características. A falta de customização tem impacto na integração social desses indivíduos e podem levar os mesmos a abandonarem este tipo de tecnologia [62].

2.4 Componentes terciários em CAA

Os componentes terciários estão relacionados com o treinamento e suporte fornecidos ao usuário durante o uso de uma tecnologia. Johnson *et al* identificaram os principais fatores de abandonos em CAA, entre eles: falta de suporte e treinamento para os usuários; ausência de manutenção e do ajuste de configuração dos sistemas de CAA; escolha inadequada de uma tecnologia que atenda as necessidades do usuário [63].

Treinamento e suporte contínuo, manutenções periódicas e ajustes do equipamento são requisitos necessários para o uso a longo termo de CAA [8]. Uma alternativa viável para os profissionais que prestam serviços de CAA é a tele-reabilitação. Tele-reabilitação é uma ferramenta para prestação de serviços de reabilitação a longa distância, empregando recursos de tecnologia da informação.

2.5 Exemplos de dispositivos de CAA

Sistema de símbolos gráficos

Para a confecção de recursos de comunicação alternativa como cartões de comunicação e pranchas de comunicação são utilizados os sistemas de símbolos gráficos (SSG). Esses SSG são compostos por uma coleção de imagens gráficas que apresentam características comuns entre si e foram criados para responder a diferentes exigências ou necessidades dos usuários. Um exemplo de SSG é o sistema de símbolos de comunicação pictórica (PSC - *Picture Communication Symbols*). O PCS é um sistema comercial desenvolvido pela empresa Mayer-Johnson, com o objetivo de melhorar a linguagem e o processo de aprendizagem de indivíduos com CNC [64].



Figura 2.5: Prancha com símbolos PCS. Extraído de [65].

Dispositivos geradores de fala

Dispositivos geradores de fala (SGDs - *Speech-generating devices*) são equipamentos que reproduzem áudios de fala gravados digitalmente ou sintetizados [1]. Essas ferramentas de CAA podem melhorar significativamente a comunicação de pessoas com CNC. Um exemplo de SGD é o GoTalk20+, desenvolvido pela empresa *Attainment Company* [66]. Trata-se de um dispositivo eletrônico portátil, que armazena e grava mensagens de áudio. O usuário reproduz uma mensagem ao pressionar o botão correspondente a ela.



Figura 2.6: Go Talk 20+. Extraído de [66].

Softwares de comunicação

Com os avanços tecnológicos na área da tecnologia da informação, os dispositivos eletrônicos tem sido substituídos por *softwares* com as mesmas funções de comunicação. Um exemplo de *software* de CAA é o WiVik desenvolvido pela empresa NanoPac Inc [67]. É composto por um teclado virtual, com método de acesso por escaneamento, simulando a operação de um teclado físico. O usuário do WiVik realiza o seu controle a partir de um dispositivo adaptado.



Figura 2.7: Software de CAA Wivik. Extraído de [67].

Capítulo 3

Métodos de acesso por escaneamento

O interfaceamento por seleção direta não é uma opção viável para alguns indivíduos com DMS. Parte dessa população não está apta para utilizar periféricos tradicionais (*mouses* e teclados) em dispositivos de auxílio a comunicação, em função do reduzido número de graus de liberdade que possuem [68]. O uso de comunicação por escaneamento possibilita um conjunto de oportunidades para a aplicação de tecnologias de CAA para essas pessoas [23].

3.1 Características do método de acesso por escaneamento

Uma compreensão básica das características e terminologia de técnicas de exploração aumentativa é essencial para a compreensão dos argumentos apresentados neste trabalho. Esta seção apresenta as características de teclados virtuais de varredura e fornece uma perspectiva histórica de sua aplicação para sistemas de CAA. As características de um teclado virtual podem ser divididas entre as seguintes categorias: *layout*; arranjo das teclas; navegação; temporizador; predição.

3.1.1 Layout

Disposição das teclas

Define como as teclas serão dispostas ao longo da interface. Podem ser dispostas de duas maneiras: circular ou matricial. A disposição circular das teclas é conveniente para teclados que possuem itens de diferentes categorias (letras, números, palavras, ações), possibilitando uma distribuição intuitiva das teclas na interface. A disposição matricial é a mais frequente entre os teclados virtuais, pelo fato de se aproximarem da disposição de teclados físicos.

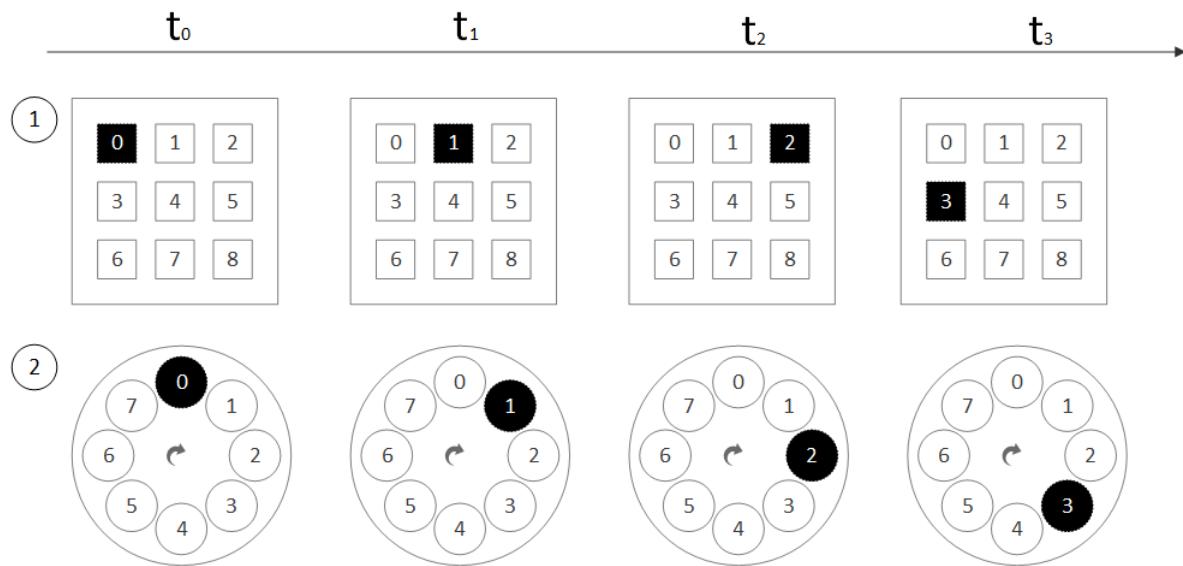


Figura 3.1: Disposição das teclas em um layout: 1) Matricial; 2) Circular.

Prabhu *et al* (2011) e Topal *et al* (2012) propuseram modelos de teclado virtual com disposição circular das teclas (Figura 3.2). De acordo com esses autores esse tipo de distribuição possibilita um posicionamento eficiente das letras em razão da compactação visual [69] [70].

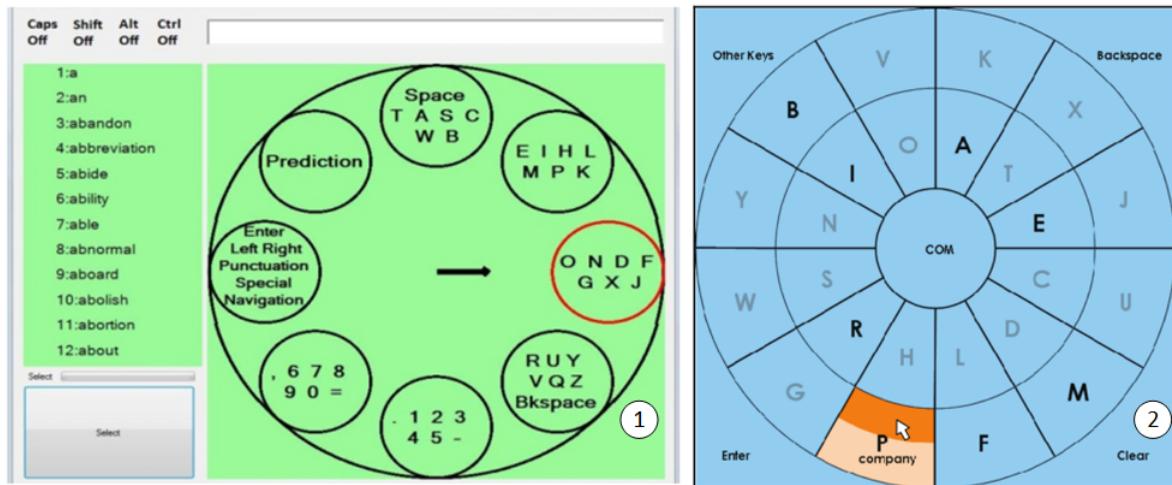


Figura 3.2: Teclados virtuais com distribuição circular: (1) Prabhu et al (2) Topal et al. Adaptado de [69] e [70].

3.1.2 Arranjo das teclas

Arranjo estático

A probabilidade de que um caractere específico apareça no decorrer de um texto é uma função dos caracteres que o antecedem [71]. Teclados virtuais como o *Tufts Interactive Communicator* (TIC) utilizam esse princípio para a distribuição de teclas [21]. Em teclados com arranjo estático, a distribuição das teclas é estabelecida antes da inicialização do sistema. (Ex.: Alfabetico, QWERTY, DVORAK, caracteres mais frequentes de uma linguagem).

1	2	3	4																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>Q</td><td>W</td><td>E</td><td>R</td><td>T</td><td>Y</td><td>U</td><td>I</td><td>O</td><td>P</td></tr> <tr><td>A</td><td>S</td><td>D</td><td>F</td><td>G</td><td>H</td><td>J</td><td>K</td><td>L</td><td></td></tr> <tr><td>Z</td><td>X</td><td>C</td><td>V</td><td>B</td><td>N</td><td>M</td><td></td><td></td><td>sp</td></tr> </table>	Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	A	S	D	F	G	H	J	K	L		Z	X	C	V	B	N	M			sp	<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																															<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>sp</td></tr> <tr><td>G</td><td>H</td><td>I</td><td>J</td><td>K</td><td>L</td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>N</td><td>O</td><td>P</td><td>Q</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>R</td><td>S</td><td>T</td><td>U</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>V</td><td>X</td><td>W</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>Z</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	A	B	C	D	E	F	sp	G	H	I	J	K	L		M	N	O	P	Q			R	S	T	U				V	X	W					Y	Z						<table border="1"> <tr><td>sp</td><td>E</td><td>A</td><td>R</td><td>D</td><td>U</td><td>V</td></tr> <tr><td>T</td><td>O</td><td>I</td><td>L</td><td>G</td><td>K</td><td></td></tr> <tr><td>N</td><td>S</td><td>F</td><td>Y</td><td>X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td>C</td><td>P</td><td>J</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>W</td><td>Q</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td>Z</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	sp	E	A	R	D	U	V	T	O	I	L	G	K		N	S	F	Y	X			H	C	P	J				M	W	Q					B	Z					
Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P																																																																																																																																										
A	S	D	F	G	H	J	K	L																																																																																																																																											
Z	X	C	V	B	N	M			sp																																																																																																																																										
A	B	C	D	E	F	sp																																																																																																																																													
G	H	I	J	K	L																																																																																																																																														
M	N	O	P	Q																																																																																																																																															
R	S	T	U																																																																																																																																																
V	X	W																																																																																																																																																	
Y	Z																																																																																																																																																		
sp	E	A	R	D	U	V																																																																																																																																													
T	O	I	L	G	K																																																																																																																																														
N	S	F	Y	X																																																																																																																																															
H	C	P	J																																																																																																																																																
M	W	Q																																																																																																																																																	
B	Z																																																																																																																																																		

Figura 3.3: Exemplos de arranjos de teclas: (1) QWERTY; (2) DVORAK; (3) Alfabetico; (4) Frequência da língua inglesa [20].

Arranjo dinâmico

A partir da frequência com que as sequências de caracteres aparecem em um corpus linguístico é possível construir tabelas de probabilidade denominadas de *n-grams*. *N-grams* podem ser utilizadas para a previsão de caracteres mais prováveis de serem selecionados [23]. Dessa forma as teclas são reorganizadas dinamicamente, à medida em que o usuário efetua a seleção de um caracter.

A reorganização usualmente é feita de maneira a posicionar os itens mais prováveis de serem selecionados em posições favoráveis. A figura 3.4 ilustra um exemplo de teclado virtual, em que as teclas são reorganizadas à medida que o usuário insere um caracter.

t ₀								t ₁								t ₂							
T								TAS								TASOI							
A	I	S	Sp	N	T	G		Sh	I	C	L	B	F	Sp		Sh	C	.	P	D	Sp	S	
O	E	L	M	D	Y	J		O	E	W	P	D	V	K		W	,	H	R	N	T	A	
R	C	H	P	V	K	X		R	M	U	A	S	J	Q		B	M	U	E	V	J	Q	
Sh	U	B	Bk	0	Q	Z		H	,	N	T	0	5	X		F	L	I	Y	O	:	X	
W	F	Ret	1	2	5	3		.	G	Y	1	2	3	Z		Bk	G	K	-	8	3	Z	
.	'	-	9	7	4	;		Bk	"	9	:	7	4	;		Ret	0	9	5	4	'	;	
,	"	:	8	6)	(Ret	-	'	8	6)	("	1	2	7	6)	(

Figura 3.4: Matrizes otimizadas para facilitar o acesso dos caracteres mais prováveis de serem selecionados. Adaptado de [72].

Ambiguidade

A aplicação de teclados ambíguos para produção de linguagem foi proposto independentemente por Glaser, Johnson e Hagstad como um meio para pessoas com problemas de audição/fala se comunicarem com o telefone, utilizando um teclado padrão de doze botões [73] [74]. Teclas com múltiplos caracteres possibilitam aumentar a acessibilidade de teclas individuais sem aumentar o tamanho de um teclado [72].

Em sistemas de escaneamento, o teclado ambíguo promove a redução do número de passos de varredura (*scan steps*) necessários para acessar as teclas em comparação ao teclado padrão (não-ambíguo). Dessa forma é possível atingir taxas de

comunicação mais rápidas, dependendo da eficiência do algoritmo de desambiguidade utilizado. O algoritmo de desambiguidade estatística é utilizado para interpretar as seleções realizadas no sistema, conforme ilustrado na figura 3.5. Mackenzie (2010) e Lesher (1998) exploraram a redistribuição das teclas em um teclado ambíguo, com o objetivo de melhorar o critério de desambiguidade [72] [75].

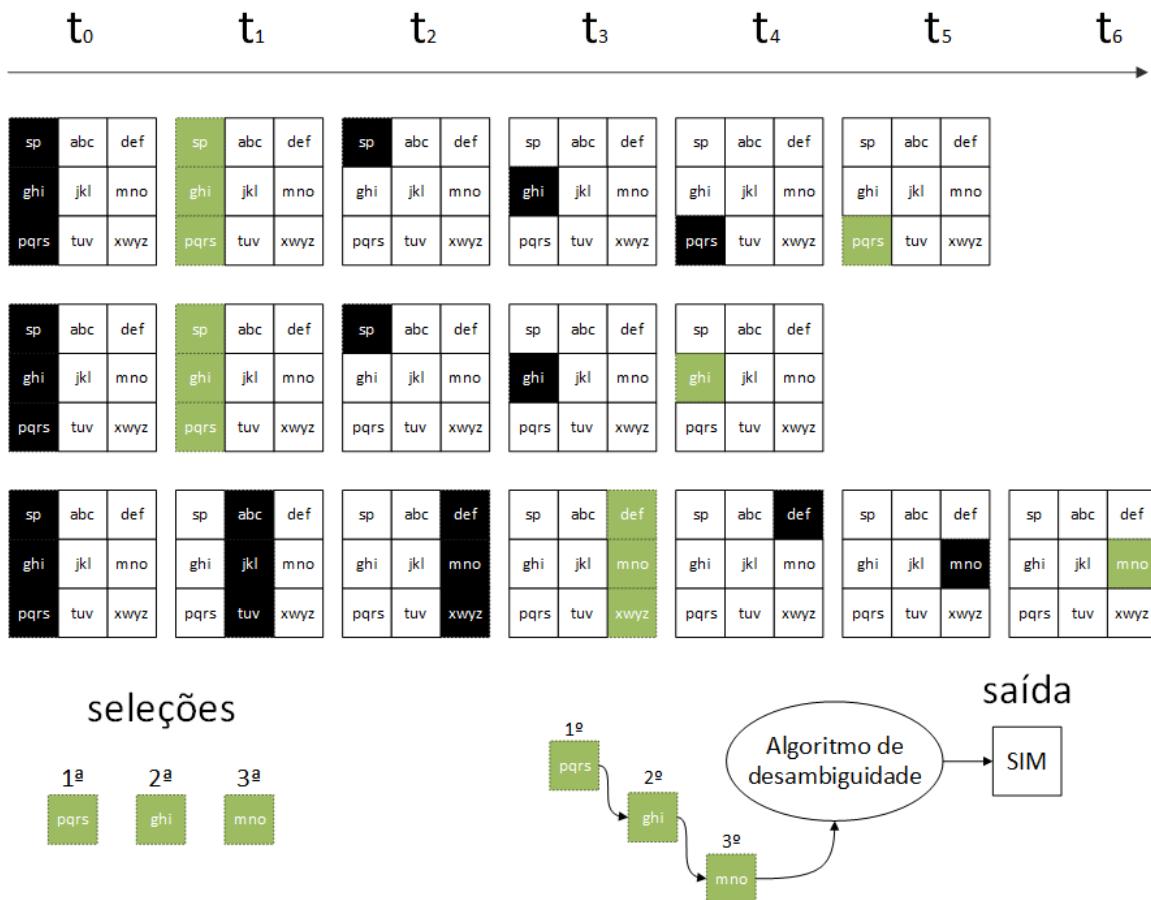


Figura 3.5: Escrita da palavra "SIM" utilizando um teclado ambíguo.

No exemplo de desambiguidade da tabela 3.1 são apresentadas as palavras candidatas para cada sequência de palavras inseridas pelo usuário.

Tabela 3.1: Sequência de teclas pressionadas para a escrita da palavra *sword*. Adaptado de [75]

Teclas	Palavras candidatas				
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
3	<i>the</i>	<i>of</i>	<i>to</i>	<i>on</i>	<i>that</i>
34	<i>tv</i>	<i>oz</i>	<i>ux</i>	<i>two</i>	<i>own</i>
343	<i>two</i>	<i>system</i>	<i>systems</i>	<i>type</i>	<i>types</i>
3433	<i>system</i>	<i>systems</i>	<i>systematic</i>	<i>sword</i>	<i>systematically</i>
34331	<i>sword</i>	<i>system</i>	<i>systems</i>	<i>systematic</i>	<i>systematically</i>

3.1.3 Navegação

Sequência de escaneamento

Um teclado virtual pode possuir diferentes sequências de escaneamento. Essa variação pode ser relacionada com a linearidade da sequência ou com a dimensionabilidade da mesma. A figura 3.8 apresenta exemplos de sequência de escaneamento, descritos da seguinte maneira:

- (1) linear / unidimensional: cada elemento da matriz é escaneado periodicamente. Quando o usuário envia o comando de seleção ao sistema, o item que se encontra realçado é selecionado. Nessa abordagem o usuário necessita realizar pelo menos uma ativação para a seleção do elemento desejado;
- (2) linear / bidimensional (coluna-item ou linha/item): a matriz é dividida em linhas e colunas. De acordo com as dimensões da matriz, o escaneamento pode ocorrer inicialmente coluna por coluna ou linha por linha. O usuário realiza a seleção da coluna/linha desejada. A varredura é retomada de forma a percorrer os itens da coluna ou linha selecionada. O usuário realiza uma segunda ativação para selecionar a tecla desejada. Nessa abordagem o usuário necessita realizar no mínimo duas ativações para a seleção do elemento desejado;
- (3) linear / tridimensional (bloco-coluna-item ou bloco-linha-item): no escaneamento tridimensional a matriz é divida em diferentes blocos. Inicialmente, a varredura percorre cada um dos blocos. O usuário realiza a seleção do bloco dese-

jado. Em seguida a varredura é retomada de forma a percorrer coluna por coluna ou linha por linha do bloco selecionado. O usuário seleciona a coluna/linha desejada. A varredura é retomada de forma a percorrer os itens da coluna ou linha selecionada. O usuário realiza uma terceira ativação para selecionar a tecla desejada. Nessa abordagem o usuário necessita realizar no mínimo três ativações para a seleção do elemento desejado;

- (4) não-linear: o escaneamento segue uma sequência hierárquica não linear, baseada na probabilidade de seleção de cada uma das teclas;

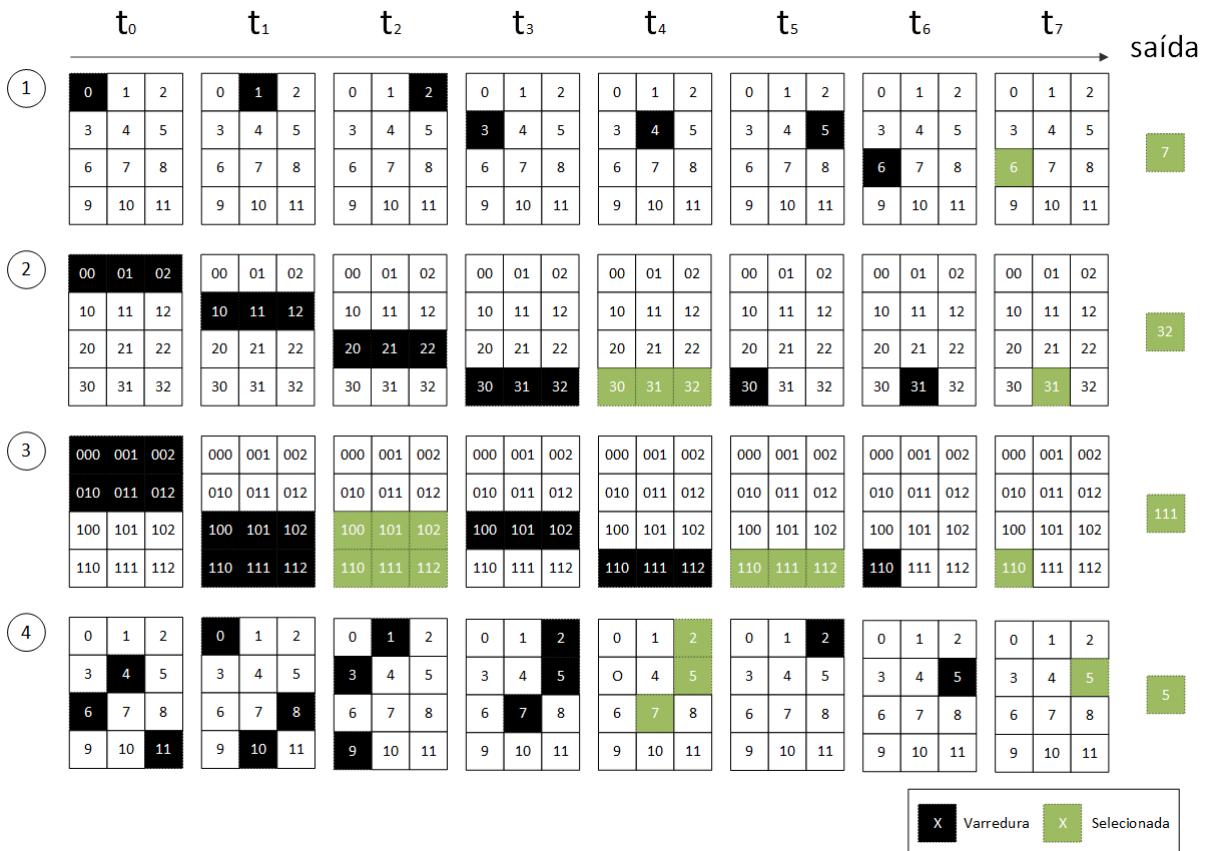
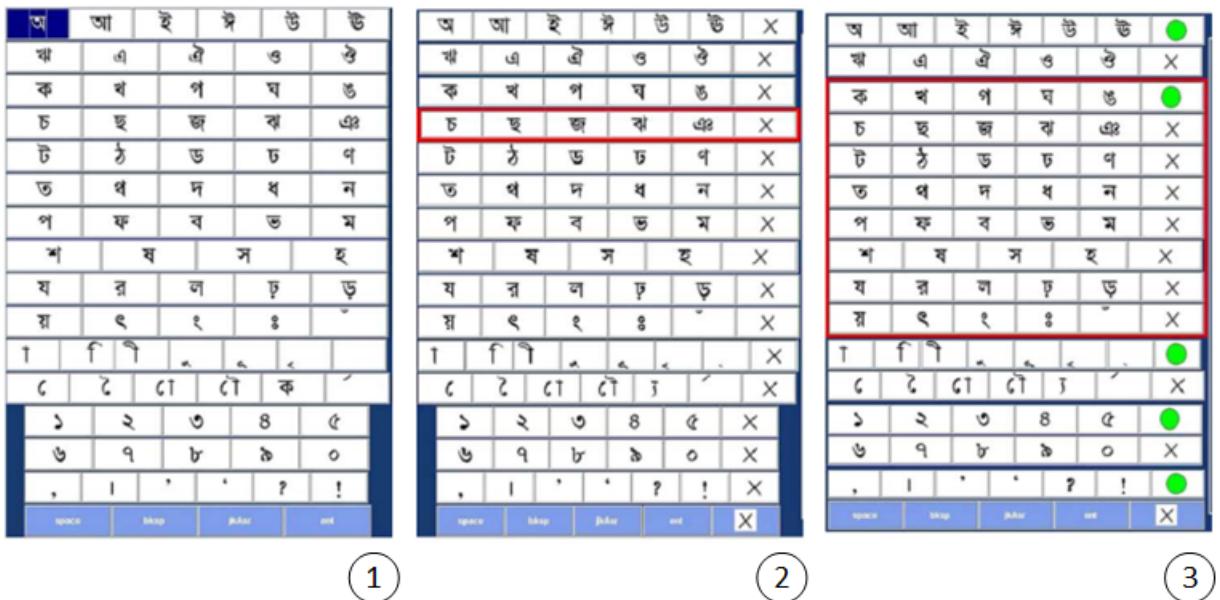


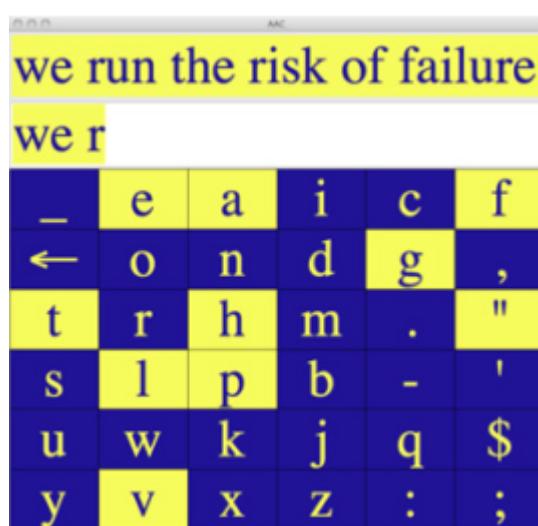
Figura 3.6: Exemplos de padrões de varredura: 1) Linear; 2) Bidimensional (Linha/Item); 3) Tridimensional (Bloco/Linha/Item); 4) Hierárquico (Grafo).

Em um estudo de Bhattacharya *et al*, indivíduos com DMS utilizaram um teclado virtual para língua bengali com três configurações de escaneamento: linear, bidimensional e tridimensional [26].

**Figura 3.7:** Exemplos de escaneamento: (1) linear, (2) bidimensional e (3) tridimensional.

Extraído de [26].

Em uma série de trabalhos, Roark *et al* (2010, 2013, 2015) apresentaram um padrão de varredura não linear como método de acesso por escaneamento [76] [16] [77]. O padrão de varredura proposto, baseia-se na codificação de Huffman [78]. Participantes de um experimento (dezesseis pessoas saudáveis e um indivíduo com DMS) realizaram tarefas de transcrição utilizando o padrão de escaneamento de Huffman e outros comuns (linear, bidimensional). Os autores compararam a taxa de comunicação e a ocorrência de erros entre as diferentes configurações.

**Figura 3.8:** Escaneamento de Huffman. Extraído de [16].

Inicialização automática/manual

O escaneamento de um teclado virtual pode ter sua inicialização de duas formas: automática ou manual. Na inicialização automática o escaneamento ocorre espontaneamente assim que o sistema é ligado. Na inicialização manual o escaneamento só é desencadeado a partir do momento em que o usuário executa um comando de ativação [17].

A figura 3.9 ilustra o estado de máquina de um sistema com inicialização manual. Durante o estado de espera, o sistema não realiza o escaneamento das teclas. Ao realizar uma ativação, o usuário faz com que o sistema initialize o escaneamento. O sistema retorna para o estado de espera na ocorrência de alguma interrupção. Essa interrupção pode ocorrer por um comando externo ou após a conclusão de uma dada tarefa (seleção de uma tecla).

Sistemas automáticos requerem um menor esforço do usuário quando comparado a um sistema com inicialização manual, devido ao menor número de ativações necessárias. Entretanto a inicialização manual proporciona algumas vantagens: o sistema pode ficar em repouso em instantes em que o usuário não está utilizando a interface; o usuário terá um tempo maior para se preparar para a seleção de um dado elemento do teclado (o usuário só inicializará o escaneamento após a localização da tecla alvo) [25].

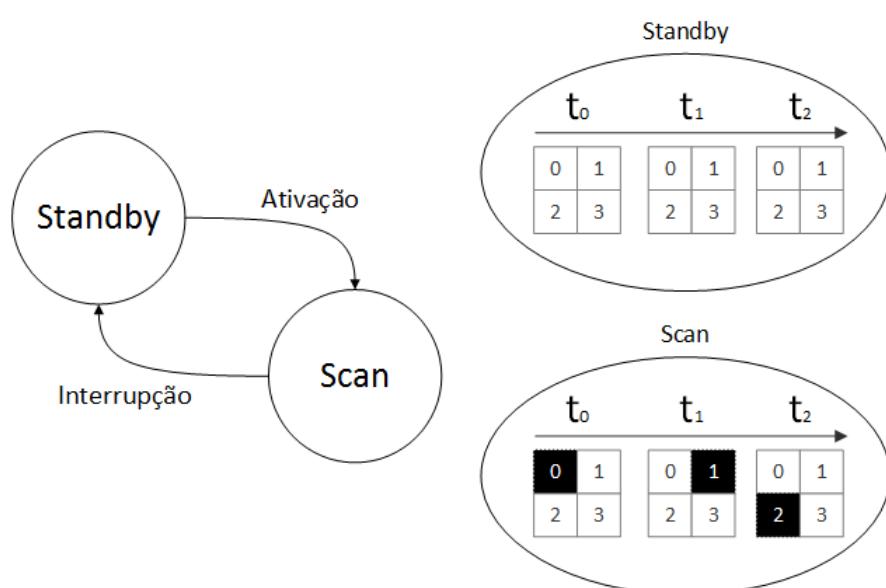


Figura 3.9: Sistema com inicialização manual.

Número de iterações

O número de iterações estabelece quantas vezes o sistema irá escanear um dado nível (linha ou coluna), antes de regressar o escaneamento para o nível anterior [17]. Essa configuração existe apenas para teclados virtuais com dimensionalidade maior ou igual a dois ($\delta \geq 2$), uma vez que teclados unidimensionais possuem um único nível de varredura.

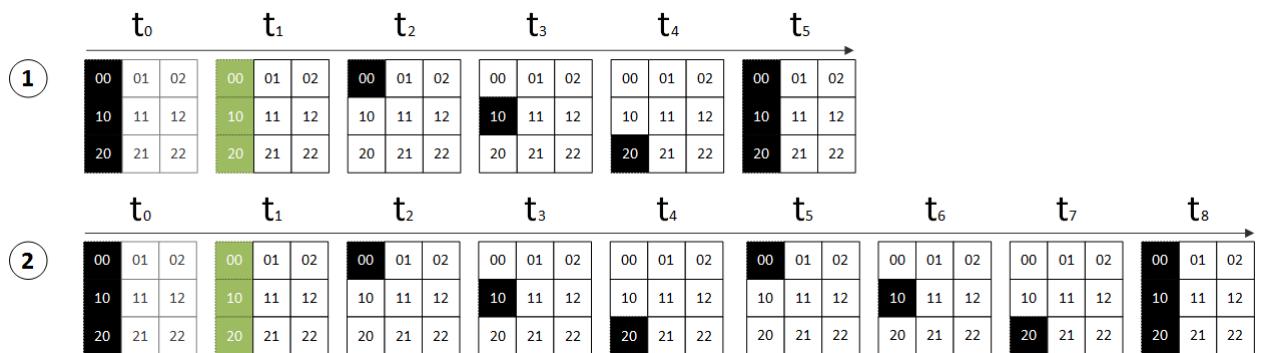


Figura 3.10: Varredura para diferentes números de iterações. 1) $N_i = 1$; 2) $N_i = 2$.

Reinicialização

A figura 3.11 apresenta duas estratégias de reinicialização que o sistema pode assumir após a seleção de uma tecla. O escaneamento pode ser reiniciado (1) a partir da posição inicial da matriz ou (2) a partir da posição da tecla selecionada [17].

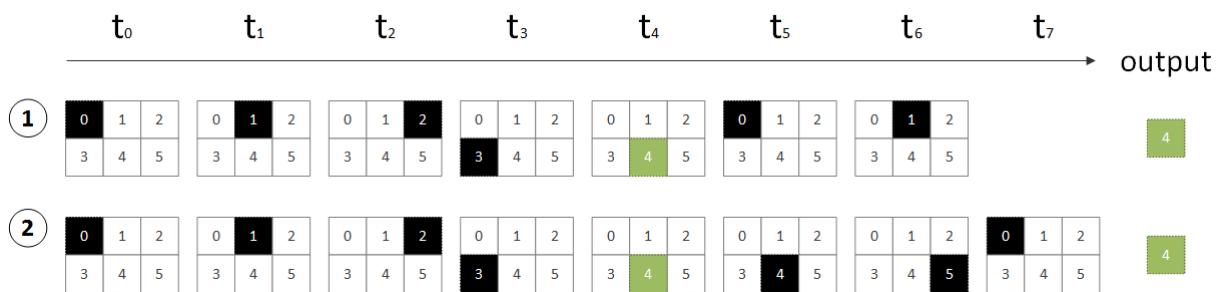


Figura 3.11: Tipos de reinicialização de escaneamento: 1) Posição inicial; 2) Última posição

O sistema utilizado por Bhattacharya *et al.*, possui reinicialização a partir da última posição selecionada [25]. Por esse motivo os autores realizaram ajustes para o cálculo do tempo necessário para acesso de uma tecla. O equacionamento considera a posição da última tecla selecionada e a sua distância em relação à próxima tecla a ser

selecionada.

Reversão

A direção da varredura pode ser invertida durante a execução do sistema [17]. Embora acrescente um passo de varredura por ciclo, esse recurso é viável para matrizes com um grande número de colunas, para uma recuperação rápida quando o usuário não seleciona a coluna alvo, conforme apresentado na figura 3.12.

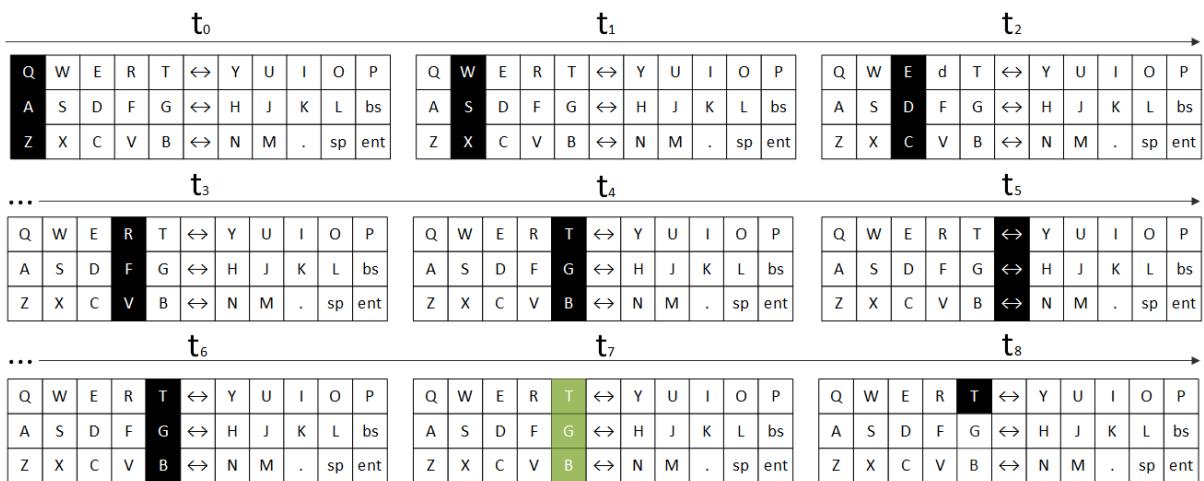


Figura 3.12: Exemplo de inversão do sentido do escaneamento.

Interrupção

O escaneamento pode ser interrompido ao selecionar o botão de parada [17]. O botão de parada é usualmente posicionado no início ou no fim do nível de varredura.

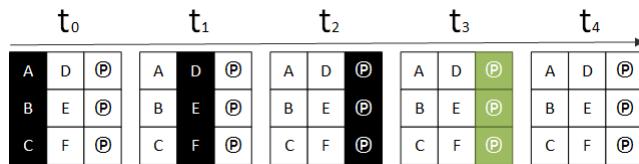


Figura 3.13: Interrupção de varredura ao selecionar o botão de parar.

Repetição

Esse recurso é aplicado para possibilitar uma recuperação rápida quando o usuário não realiza a seleção de uma tecla alvo. Ao pressionar o botão de repetição o sistema repete a varredura no mesmo nível (o escaneamento é repetido em uma dada

linha ou coluna) ao invés de reiniciar a varredura na condição inicial. O botão de repetição pode ser posicionado no final de um dado nível (linha ou coluna) da matriz. Essa configuração existe apenas para teclados virtuais com dimensionalidade maior ou igual a dois ($\delta \geq 2$), uma vez que teclados unidimensionais possuem um único nível de varredura.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16
1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17
2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18
3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19
Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16	0 4 8 12 16
1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17	1 5 9 13 17
2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18	2 6 10 14 18
3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19	3 7 11 15 19
Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ

Figura 3.14: O escaneamento é repetido em um dado nível ao selecionar o botão de repetir.

Retorno para o nível anterior

A varredura retorna para o nível anterior ao selecionar o botão de voltar, usualmente posicionado no início ou fim do nível. Essa configuração existe apenas para teclados virtuais com dimensionalidade maior ou igual a dois ($\delta \geq 2$), uma vez que teclados unidimensionais possuem um único nível de varredura.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Ⓐ Ⓑ Ⓒ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ	Ⓐ Ⓑ Ⓒ
A B C	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C
D E F	D E F	D E F	D E F	D E F	D E F

Figura 3.15: Escaneamento retorna para o nível anterior ao selecionar o botão de saída.

3.1.4 Temporizador

O temporizador define o período de tempo entre os passos de varredura de um sistema de escaneamento. Essa relação é dada pelo tempo de escaneamento (T_{SR} -

Scan Rate), que por sua vez é uma grandeza inversamente proporcional à velocidade do sistema de comunicação [79]. O T_{SR} pode ser estático, onde o seu valor é constante e é definido antes da inicialização do sistema, ou pode ser dinâmico, onde o seu valor sofre variações durante a execução do sistema. Ghedira *et al* (2009) propuseram um estudo onde o T_{SR} era reajustado em tempo de execução, de acordo com o tempo de reações do usuário [80].

Atraso de recuperação

Em um estudo com cinco usuários de sistemas de escaneamento, diagnosticados com paralisia cerebral, Mankowski *et al* (2012) identificaram que os alvos localizados na primeira linha apresentaram maior incidência de erros quando comparados com teclas localizadas em outras regiões da matriz [17]. Os autores do estudo justificaram esse problema pelo fato do sistema não possibilhar uma recuperação apropriada entre as seleções de teclas. Uma solução para esse problema é o atraso de recuperação.

O atraso de recuperação é um recurso empregado no início de cada ciclo de varredura. Antes de inicializar a varredura de cada item do teclado, o sistema permanece ocioso por um período de tempo determinado (T_{RD} - *Recovery Delay*). Esse recurso tem como objetivo reduzir os erros cometidos nas seleções de alvos localizados nas posições iniciais do teclado. O tempo adicional obtido durante a ociosidade do sistema possibilita ao usuário um período maior para se recuperar das seleções de teclas. O valor de T_{RD} usualmente é ajustado para o mesmo valor do tempo de escaneamento ($T_{RD} \approx T_{SR}$). Alguns sistemas permitem ajustar T_{RD} para valores distintos [81].

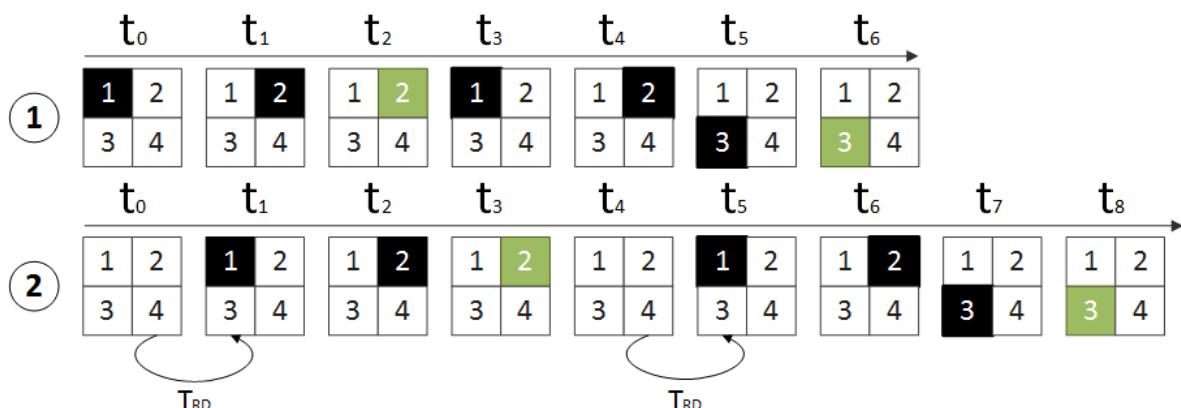


Figura 3.16: (1) Varredura padrão; (2) Varredura com atraso de recuperação.

3.1.5 Predição de caracteres/palavras

A predição de caracteres/palavras possui variações no algoritmo que analisa e faz a sugestão dos itens prováveis de serem selecionados. Em sua forma mais simples, a predição baseia-se em uma tabela de frequência estática das palavras de um dado corpus linguístico.

Koester *et al* (1996) realizaram um experimento com seis participantes diagnosticados com lesão da medula espinal, no qual os mesmos utilizavam um sistema com recurso de predição de palavras baseado em uma lista estática [82]. Uma limitação desses sistemas é a incapacidade de sugerir palavras de acordo com o contexto semântico. Alternativas para esses sistemas envolvem a combinação de análise probabilística com técnicas de inteligência artificial.

Higginbotham *et al* (2012) discutiram as possíveis aplicações do processamento natural de linguagem para realizar a previsão de palavras em sistemas de CAA [83]. Hunnicutt *et al* (2001) propuseram um sistema baseado nos modelos de Markov e em métodos heurísticos para a sugestão de palavras de acordo com o contexto gramatical de uma dada sentença [84]. A figura 3.17 apresenta um exemplo de um sistema de escaneamento com sugestão de palavras.



Figura 3.17: Sistema com sugestão de palavras.

3.2 Cálculo do tempo de seleção de uma tecla

O desempenho de um sistema de escaneamento está relacionado com o tempo necessário para a seleção de cada um dos seus itens. Para calcular o tempo de seleção de uma tecla de um teclado virtual são definidas algumas premissas, baseadas

no sistema de comunicação utilizado nesse trabalho (o capítulo 4 irá explorar essas informações detalhadamente):

- a dimensionalidade (δ) da matriz é igual a 2;
- a sequência de varredura é do tipo coluna/item;
- a inicialização da varredura ocorre automaticamente;
- após a seleção de uma tecla a varredura é reiniciada a partir da posição inicial da matriz ($c = 1 ; r = 1$);
- o número de iterações é igual a 1.

Um teclado virtual de varredura bidimensional ($\delta = 2$) pode ser compreendido como uma matriz composta por N_C colunas e N_R linhas. Cada item da matriz é representado por uma coordenada $\{c ; r\}$, onde c e r representam, respectivamente, a c -ésima coluna e a r -ésima linha. O sistema varre automaticamente cada coluna/linha da matriz a uma taxa de varredura fixa T_{SR} .

A figura 3.18 apresenta uma sequência de ações realizadas para a seleção da tecla 6 (K_6) de um teclado virtual com dimensões 3x3, baseado nas premissas estipuladas anteriormente. A tecla a ser selecionada, encontra-se na coordenada $\{c ; r\} = \{2 ; 3\}$. Dessa forma o usuário deverá selecionar a 2^a coluna da matriz e em seguida a 3^a linha dessa mesma coluna.

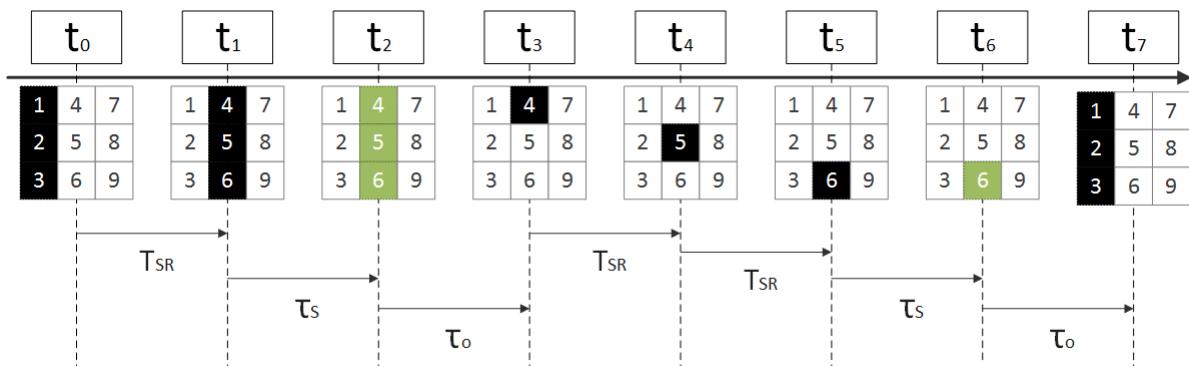


Figura 3.18: Sequência de ações realizadas para a seleção da tecla 6 de um teclado virtual bidimensional com dimensões 3x3

O período que o usuário leva para realizar a seleção de um item é denominado por tempo médio de reação (τ_s). Esse período τ_s comprehende o instante em que a

tecla encontra-se em destaque pelo escaneamento até a conclusão de sua seleção. A condição $\tau_s \leq T_{SR}$ deve ser satisfeita para garantir a seleção do item correto. Caso $\tau_s > T_{SR}$, o usuário selecionará o próximo item da sequência, causando um erro de seleção. O sistema reinicializa o escaneamento após a seleção de um item. Essa ação acontece em um intervalo de tempo diferente de zero, denominado por tempo de latência do sistema (τ_o). O comprimento desse intervalo, compreendido entre a conclusão da seleção e o reinício do escaneamento, pode variar de acordo com a implementação do sistema. Para o sistema de escaneamento desenvolvido por Bhattacharya *et al* (2008), foi estimado que $\tau_o \approx T_{SR}$ [25].

A cada instante (t_n) da sequência ilustrada na figura 3.18 ocorrem as seguintes ações:

- t_0 : O sistema inicia a varredura a partir da coordenada inicial {1; 1}. O usuário aguarda a ação do escaneamento.
- t_1 : A varredura encontra-se na 2^a coluna da matriz. O usuário inicia a ação para selecionar a coluna.
- t_2 : O sistema responde à seleção do usuário. Após a conclusão da seleção, o sistema se prepara para reiniciar o escaneamento de forma a percorrer cada item da coluna selecionada.
- t_3 : O sistema reinicia a varredura a partir da 1^a linha da 2^a coluna. O usuário aguarda a ação da varredura.
- t_4 : A varredura encontra-se na 2^a linha da 2^a coluna. O usuário aguarda a ação da varredura.
- t_5 : A varredura encontra-se na 3^a linha da 2^a coluna. O usuário inicia a ação para selecionar a tecla.
- t_6 : O sistema responde à seleção do usuário. Após a conclusão da seleção, o sistema se prepara para reiniciar o escaneamento de forma a percorrer cada coluna da matriz a partir da coordenada inicial.
- t_7 : O sistema reinicia a varredura a partir da coordenada inicial.

O tempo necessário para realizar a seleção da tecla 6 (T_{K_6}), ou seja, o intervalo compreendido entre os instantes t_0 e t_7 , pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\Delta_{t_0-t_1} = \Delta_{t_3-t_4} = \Delta_{t_4-t_5} = T_{SR} \quad (3.1)$$

$$\Delta_{t_1-t_2} = \Delta_{t_5-t_6} = \tau_s \quad (3.2)$$

$$\Delta_{t_2-t_3} = \Delta_{t_6-t_7} = \tau_o \quad (3.3)$$

$$\Delta_{t_0-t_7} = \Delta_{t_0-t_1} + \Delta_{t_1-t_2} + \Delta_{t_2-t_3} + \Delta_{t_3-t_4} + \Delta_{t_4-t_5} + \Delta_{t_5-t_6} + \Delta_{t_6-t_7} \quad (3.4)$$

$$\Delta_{t_0-t_7} = T_{SR} + \tau_s + \tau_o + T_{SR} + T_{SR} + \tau_s + \tau_o \quad (3.5)$$

$$T_{K_6} = T_{\{2;3\}} = \Delta_{t_0-t_7} = 3T_{SR} + 2\tau_s + 2\tau_o \quad (3.6)$$

Um teclado com $\delta = 2$ (coluna/linha) implicará em duas ocorrências de τ_s e de τ_o , uma vez que serão necessárias no mínimo duas ações de seleção. Para a coordenada {2 ; 3} a varredura percorreu uma linha e duas colunas. A partir dessa análise é possível desenvolver uma equação geral que permite o cálculo do tempo de seleção de uma tecla qualquer em uma matriz bidimensional, expressa em 3.7.

$$T_{K_n} = T_{\{c;r\}} = 2 \times (\tau_o + \tau_s) + T_{SR} \times (c + r - 2) \quad (3.7)$$

Para uma análise computacional, em que se deseja realizar a comparação entre diferentes arranjos de teclas, as componentes τ_o e τ_s da equação 3.7 podem ser tratadas como uma constante. Sendo assim, uma segunda aproximação dessa equação permitiria desconsiderar essa constante, uma vez que deseja-se analisar apenas o tempo necessário para que o sistema alcance determinadas teclas. A nova expressão é apresentada na equação 3.8.

$$T'_{K_n} = T'_{\{c;r\}} = T_{SR} \times (c + r - 2) \quad (3.8)$$

Com base na equação 3.8 é possível construir um mapa de distribuição do tempo de acesso para cada tecla de uma matriz bidimensional, conforme apresentado na figura 3.19.

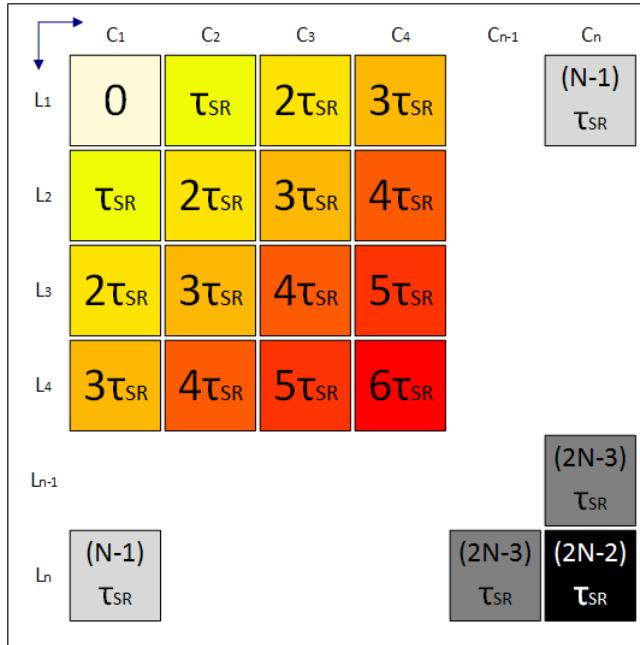


Figura 3.19: Mapa de distribuição do tempo de acesso para cada tecla de uma matriz bidimensional.

É importante ressaltar que, embora a simplificação proposta pela equação 3.8 desconsidere as variáveis τ_o e τ_s , essa abordagem não é adequada quando há o interesse de se avaliar o tempo de reação de um indivíduo. Um arranjo de teclas desconhecido poderá gerar uma sobrecarga cognitiva a um usuário inexperiente, impactando o valor de τ_s , de forma análoga aos sistemas que possuem rearranjo dinâmico de teclas. Baletsa et al (1976) alegaram que o rearranjo dinâmico de teclas requer um nível de concentração excessivo do usuário, afetando o seu desempenho [85].

3.3 Métricas de desempenho em sistemas de escaneamento

Taxa de comunicação, taxa de erros e eficiência são variáveis importantes para avaliar o desempenho de um dispositivo de CAA. O termo taxa de comunicação (TER - *Text entry rate*) representa a quantidade de informação inserida por um usuário em um dispositivo de comunicação, durante um determinado intervalo de tempo. Esse parâmetro possui variações no que diz respeito à forma em que é calculada à unidade utilizada.

A métrica palavras por minuto (WPM) é comum em análises de comunicação de teclados virtuais, em destaque os de sistemas que fazem uso de recursos de previsão de textos [86] [87] [88]. O cálculo de WPM é descrito na equação 3.9, onde T representa a quantidade de caracteres inseridos, S o intervalo de tempo em segundos e CPW_{avg} representa a média de caracteres por palavra em um dado idioma.

$$WPM = \frac{|T| - 1}{S} \times 60 \times \frac{1}{CPW_{avg}} \quad (3.9)$$

Outra variante de taxa de comunicação é a métrica caracteres por minuto (CPM). CPM possibilita uma análise entre sistemas de diferentes contextos, uma vez que a variável CPW_{avg} é dependente da linguagem para a qual o sistema foi projetado [89] [90]. O cálculo de CPM é demonstrado na equação 3.10.

$$CPM = \frac{|T| - 1}{S} \times 60 \quad (3.10)$$

As métricas WPM e CPM possuem limitações, uma vez que desconsideram se os caracteres inseridos no sistema estavam incorretos ou não [91]. As métricas ajustadas (WPM_{ajust}) e (CPM_{ajust}), expressas respectivamente pelas equações 3.11 e 3.12, corrigem esse problema ao considerar a taxa de erros (U) e a penalidade dos erros (a) gerados pelo sistema analisado [92].

$$WPM_{adj} = WPM \times (1 - U)^a \quad (3.11)$$

$$CPM_{adj} = CPM \times (1 - U)^a \quad (3.12)$$

A variação métrica existente entre as taxas de comunicação de diversas pesquisas, dificulta a comparação de desempenho entre diferentes configurações de teclados. Mackenzie (2012) propôs um método para modelar a taxa de comunicação produzida por diferentes sistemas de escaneamento, viabilizando a análise entre configurações de diferentes estudos [24]. O autor realizou uma análise computacional para avaliar o desempenho de arranjos de tecla em diferentes corpus linguísticos. O método é representado pela equação 3.13, onde os termos S_w , F_w , C_w e SPC representam respectivamente, o número de passos de escaneamento para inserir a palavra w , a frequência da palavra w , o número de caracteres da palavra w e a média ponderada do número de passos de escaneamento que um teclado necessita para a escrita de uma palavra de um corpus linguístico.

$$SPC = \sum_{w=1}^n \frac{S_w \times F_w}{C_w \times F_w} \quad (3.13)$$

Esforço de digitação

A economia de ações (*keystroke savings*) em um sistema de escaneamento ativado por um *switch* único diz respeito ao número de ativações que o usuário precisa realizar para selecionar um dado elemento (caracter, palavra, texto). Teclados virtuais com varredura linear, embora sejam mais lentos do que teclados com dimensionalidade maior ou igual a 2, requerem um menor número de ativações para a seleção de uma tecla [18]. Tal aspecto de esforço tem impacto considerável em usuários com restrição muscular para a ativação de dispositivos alternativos.

Rocha (2013) identificou em seu estudo que a fadiga muscular resultante das sucessivas ativações de um sistema de CAA, limitava o tempo de uso de um sistema de comunicação. O usuário em questão, diagnosticado com ELA, realizava o acionamento da interface por meio de um sensor EMG posicionado sobre músculos faciais (m. masséter e m. frontal) [93].

Darragh (1991) e Koester *et al* (1994, 1996, 1998) estudaram o impacto do recurso de previsão de palavras, utilizados para reduzir o número de seleções (*keystrokes*) executadas pelo usuário em interfaces de escaneamento [94] [95] [96] [82] [97]. Os estudos indicam que o recurso de previsão de palavras reduziu o tempo necessário para a escrita de uma palavra. Entretanto, um dos pontos discutidos pelos autores é que o recurso impõe uma sobrecarga cognitiva sobre o usuário, levando a uma maior ocorrência de erros durante o controle da interface.

Garay-Vitoria *et al* (2006) propôs uma métrica para medir o esforço de digitação em um sistema de escaneamento, apresentada na equação 3.14, onde os termos N_a , N_g e $KS_{savings}$ representam respectivamente, o número de ações realizadas pelo usuário, o número total de caracteres inseridos e a taxa de economia de ações [98].

$$KS_{savings} = \left(1 - \frac{N_a}{N_g}\right) \times (100\%) \quad (3.14)$$

3.4 Modelos de taxa de comunicação

Em CAA o uso de modelos pode fornecer uma melhor compreensão a respeito da influência de certas configurações de um teclado virtual sobre o seu desempenho [17] [20].

Modelo de Rosen e Goodenough-Trepagnier

Rosen e Goodenough-Trepagnier (1981), propuseram um modelo para estimar a taxa de comunicação gerada por dispositivos de comunicação alternativos [89]. O modelo, expresso pela equação 3.15, é uma função que relaciona o número de unidades de linguagem por palavras em um dado idioma (C), o número de ações motoras realizadas por unidade de linguagem (L) e o tempo médio dessas ações (T) para se obter o tempo médio necessário para a composição de uma palavra (t_w).

$$t_w = C \times L \times T \quad (3.15)$$

Os autores do estudo observam que o modelo proposto é adequado apenas para sistemas de seleção direta.

Modelo de Damper

Damper (1984) realizou uma extensão do trabalho de Rosen e Goodenough-Trepagnier, de forma a adequar o modelo proposto anteriormente para um sistema operado por escaneamento [20]. A relação L.T é uma função do tipo de escaneamento, da estrutura geométrica do teclado e do tempo de escaneamento [59]. O tempo médio necessário para a composição de uma palavra em um sistema de escaneamento é apresentado na equação 3.17. A equação considera a probabilidade de ocorrência (p_i) de cada um dos elementos de linguagem e tempo de escaneamento (t_i) necessário para acessar cada um deles, conforme apresentado na equação 3.16.

$$t = L \times T = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} = \sum_{i=1}^N p_i t_i \quad (3.16)$$

$$t_w = C \times L \times T = C \sum_{i=1}^N p_i \times t_i \quad (3.17)$$

Parte III

Desenvolvimento da plataforma para experimentos

Capítulo 4

Sistema de CAA com MAE

4.1 Introdução

O *software* Edith é um sistema de comunicação alternativa e aumentativa (CAA) com método de acesso por escaneamento (MAE), desenvolvido por um grupo de pesquisadores do Laboratório de Projetos, Otimização e Modelagem de Sistemas (LCOMS) da Universidade de Lorraine (Lorraine, Nancy, França). O *software* foi desenvolvido com o objetivo de atender às necessidades de comunicação de indivíduos com disfunção motora severa em decorrência de um quadro de ELA [99].

O Edith opera na plataforma PC e é constituído por módulos com diferentes funcionalidades: reprodução de alarmes, composição de mensagens, reprodução de fala e acesso a dados multimídia [80]. Possui duas componentes principais: uma interface funcional e outra para configurações. A interface funcional (Figura 4.1) é a área de interação do usuário, onde ele é capaz de executar ações como: acionar um alarme, chamar a equipe médica, selecionar frases pré-definidas, compor textos com um teclado virtual e acessar arquivos de mídia (vídeos, música, figuras, texto, arquivos pdf). A interface de configurações permite o ajuste dos parâmetros relacionados ao sistema: tempo de varredura, ativar/desativar tempo de varredura adaptativo, determinar as sentenças armazenadas, idioma, entre outros.

A figura 4.2 apresenta o teclado virtual, que pertence ao módulo de composição de textos. É uma forma alternativa para a escrita de caracteres, simulando a operação de um teclado físico. O teclado virtual do Edith possui um mecanismo de escaneamento automático e as ações de seleção são executadas a partir de um sensor especiali-

zado. O sensor atua como um dispositivo de entrada (*switch*) gerando sinais binários (0 ou 1), onde 1 representa o comando de seleção e 0 representa um estado de espera. Esse método é compatível com os requisitos do *software*, que necessita de uma entrada única para a seleção dos itens destacados pelo escaneamento.

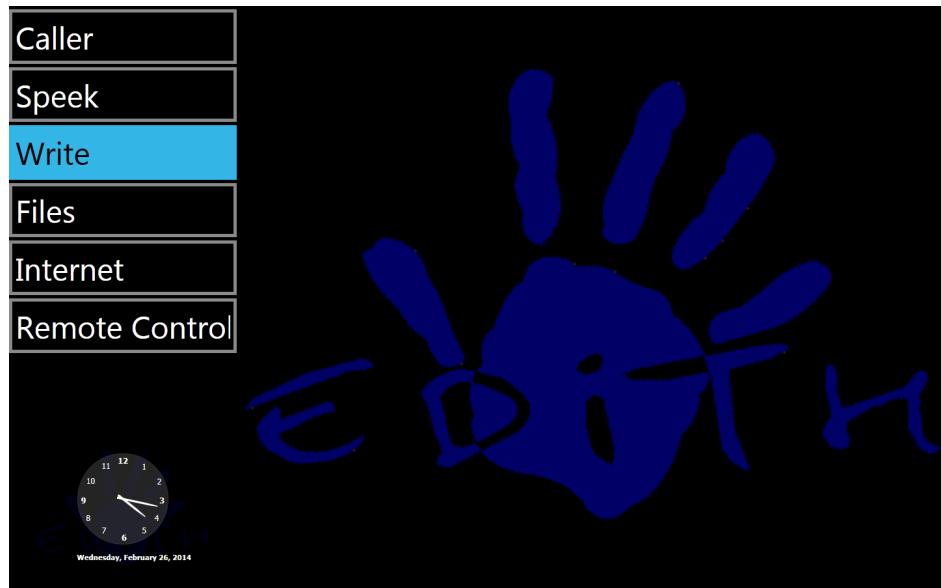


Figura 4.1: Edith: Módulo principal.

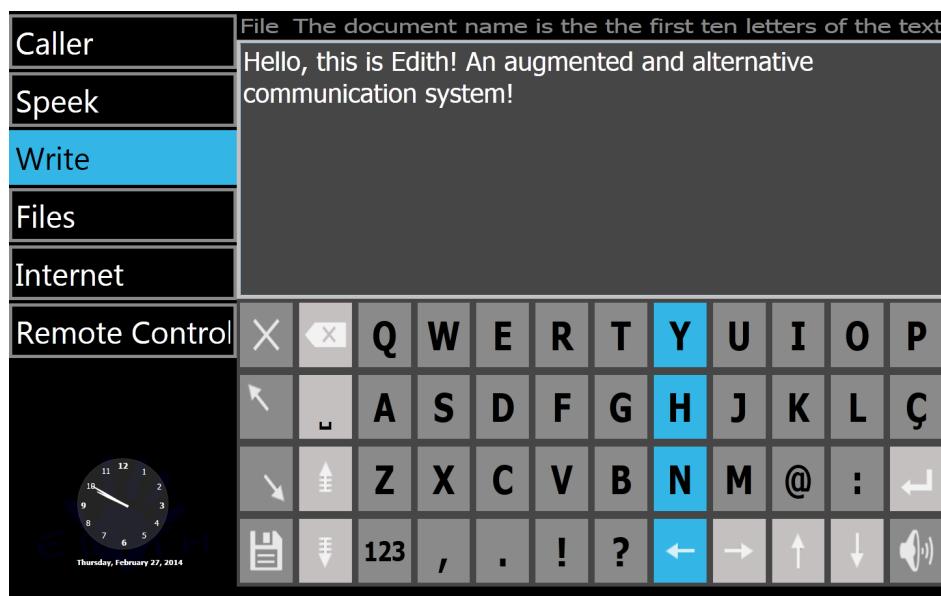


Figura 4.2: Edith: Módulo teclado virtual.

O princípio de operação do teclado virtual pode ser descrito da seguinte maneira:

- 1. Quando o módulo é inicializado, o teclado virtual inicia o escaneamento automaticamente;

- 2. O escaneamento percorre cada coluna do teclado (da esquerda para a direita);
- 3. Quando a coluna desejada encontra-se em destaque, o usuário realiza a sua seleção pelo dispositivo de entrada;
- 4. Em seguida o escaneamento é retomado, de forma a varrer cada item da coluna selecionada;
- 5. Quando o item desejado encontra-se em destaque, o usuário realiza a seleção;
- 6. A letra correspondente à tecla selecionada é inserida na caixa de diálogo localizado na parte superior da tela.

A figura 4.3 apresenta um diagrama contendo a sequência de ações para a seleção da tecla V do teclado ao lado.

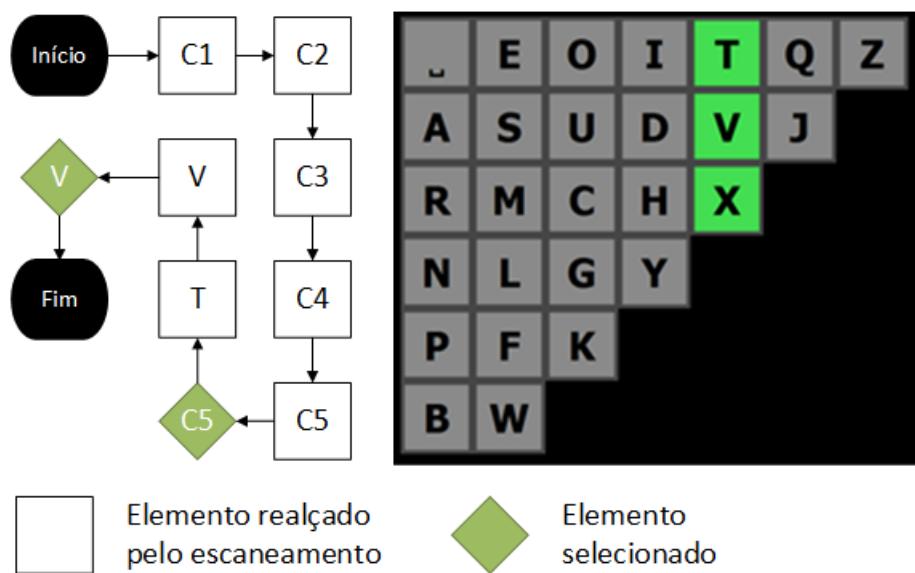


Figura 4.3: Sequência de ações para a seleção da tecla V. C_n representa a n-ésima coluna.

Nos últimos anos, o sistema foi utilizado para a realização de diferentes estudos em CAA. Bourhis *et al* (2002) realizaram um experimento utilizando o Edith, com o objetivo de modelar a interação homem-máquina durante a interação dos participantes com o sistema [100]. A análise temporal realizada pelos autores se baseou nos conceitos de interação homem-máquina proposto pelo modelo de processamento humano (MHP - *Model human processor*) [101].

Ghedira *et al* (2009) desenvolveram um método para otimizar o tempo de escaneamento (T_{SR}) do *software* Edith. O método realizava o ajuste automático do T_{SR} de acordo com a variação do tempo de reação do usuário durante a execução do sistema [80].

Naves *et al* (2012) realizaram um experimento com um paciente diagnosticado com ELA, no qual o participante interagia com o Edith, utilizando um dispositivo de controle, baseado em sinais EMG [102]. O dispositivo, desenvolvido pelos autores, realizava o processamento do sinal EMG proveniente de músculos faciais, e em seguida gerava os comandos de controle para o *software*, de acordo com a atividade muscular voluntária do participante. Um outro dispositivo baseado em sinais EOG também foi desenvolvido pelos mesmos autores em outro estudo [93].

Mariano *et al* (2014) utilizaram o Edith para avaliar uma estratégia de controle baseado na detecção de movimentos. Os autores desenvolveram um dispositivo de controle que utilizava um sensor de acelerometria. Oito participantes saudáveis executaram tarefas de transcrição no Edith, utilizando o dispositivo desenvolvido [103].

A transcrição de sentenças é uma atividade que se aproxima de um contexto real de comunicação executada por um usuário de CAA. Por essa razão, escolhe-se esse método como ferramenta de pesquisa nessa área para a avaliação de diferentes configurações em sistemas de escaneamento, tais como: taxa de varredura [104] [80], arranjo de teclas [72] [24], previsão de palavras [97] e paradigmas de escaneamento [77].

Uma barreira significativa nas práticas de CAA baseadas em evidências é a falta de medidas de desempenho validadas que possam ser utilizadas por fonoaudiólogos e engenheiros de reabilitação na avaliação dos dispositivos utilizados por usuários dessa tecnologia [105]. Uma ferramenta para esse problema é o emprego de técnicas de (*data-logging*) que possibilitam a transcrição e a análise dos dados gerados nesses sistemas. Entretanto a maior fonte de erro para a medição automatizada de taxa de comunicação é a presença excessiva de intervalos entre as seleções, nos quais nenhuma atividade de comunicação ocorre [105].

Este capítulo apresenta a construção de um módulo para a realização dos experimentos a serem conduzidos nesse trabalho (Os experimentos serão apresentados detalhadamente nos capítulos 5 e 6). O módulo consiste em um ambiente composto

por um teclado virtual, que permite a execução de tarefas de transcrição com registro automatizado das ações dos participantes. Além do ambiente para a transcrição de textos, o módulo permite a construção de diferentes protocolos de experimentos e realiza o processamento dos dados coletados nos ensaios;

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Classificação das ações da interação entre usuário e interface

Durante a interação com um teclado virtual, um usuário pode realizar diferentes tipos de ações. As possibilidades de interação, para um sistema com padrão de varredura linear, são apresentadas na figura 4.4 e podem ser descritas da seguinte maneira: (1) o usuário seleciona a tecla correta e gera a saída esperada pelo sistema; (2) o usuário seleciona a tecla incorreta, gerando uma saída inesperada pelo sistema; (3) o usuário não realiza uma seleção de tecla.

A partir desses exemplos, pode-se inferir que cada ação pode gerar um efeito específico para o sistema. As situações (2) e (3) são exemplos de erros cometidos pelo usuário que produzem diferentes efeitos no sistema: em (2) o sistema pode exigir do usuário uma correção do dado inserido de forma incorreta (utilizar a tecla de retrocesso para apagar uma letra errada) enquanto que em (3) não haveria essa necessidade.

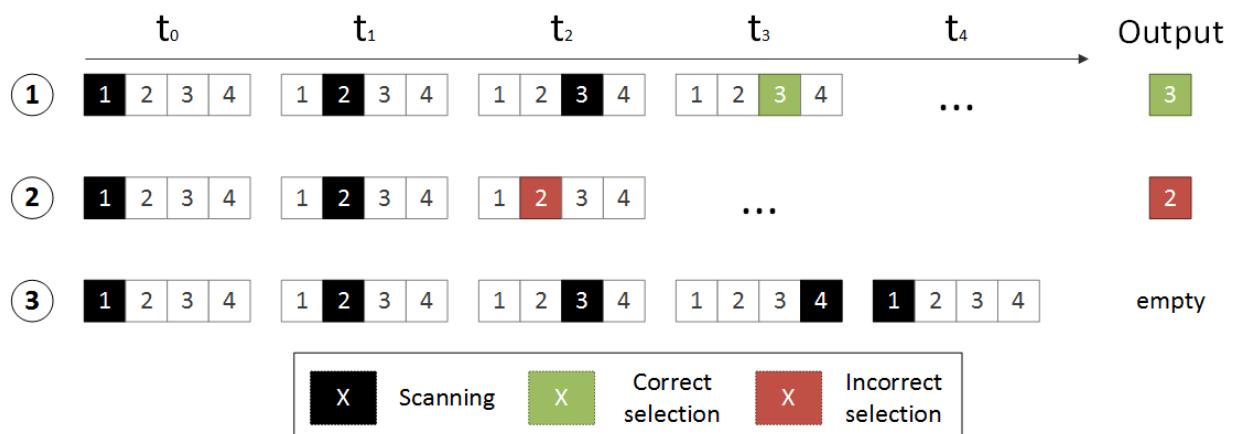


Figura 4.4: Possíveis ações para uma interação com um sistema de MAE do tipo linear.

As possíveis ações existentes para um sistema podem ser atribuídas a diferentes classes, definidas de acordo com o tipo de configuração do sistema ou com o objeto de interesse a ser investigado no sistema.

Ao analisar os dados de seis participantes com disfunção motora severa em uma tarefa de seleção de caracteres em um dispositivo com MAE, Bhattacharya *et al* encontraram dois tipos de erros que afetaram o desempenho destes participantes [25]. Os erros foram: (a) erro de sincronia (ε_t): ocorre quando o usuário falha em selecionar uma tecla num determinado momento; (b) erro de seleção (ε_s): ocorre quando o usuário seleciona uma tecla incorreta.

Em um outro experimento, onde foi analisada a influência de diferentes configurações no desempenho de cinco usuários de CAA (diagnosticados com PC) ao utilizarem um teclado virtual, Mankowski *et al* dividiram os erros destes participantes nas seguintes categorias: (a) seleção imediatamente antes da linha alvo; (b) seleção imediatamente após a linha alvo; (c) seleção imediatamente antes da coluna alvo; (d) seleção imediatamente após da coluna alvo; (e) nenhuma linha selecionada; (f) nenhuma coluna selecionada [17]. Neste caso, as categorias (a), (b), (c) e (d) podem ser consideradas como tipos de erros de seleção ε_s enquanto que as categorias (e) e (f), por sua vez, podem ser associadas a tipos de erro de sincronia (ε_t).

No estudo de Roark *et al* (2013), dezesseis participantes saudáveis e um participante com DMS foram submetidos a um experimento para comparar um padrão de varredura hierárquico (*Huffman scanning*) como MAE em relação a outras condições de varredura (2-n linha/coluna, linear, entre outras) [77]. O procedimento do experimento consistia na execução de uma tarefa de transcrição de sentenças, utilizando diferentes padrões de escaneamento como MAE. Na varredura de Huffman, o princípio de codificação proposto por Huffman (1952) é utilizado para selecionar os itens do teclado durante o escaneamento, minimizando o número de *bits* esperado por cada tecla [78]. Neste escaneamento os itens do teclado são percorridos de acordo com a distribuição de probabilidade de cada um dos seus símbolos, sem que ocorra uma redistribuição dinâmica das teclas da matriz [16]. Os autores do estudo consideram que os erros cometidos pelo usuário ocorrem em decorrência de uma seleção de um item incorreto (erro de seleção) ou da ausência de seleção do alvo (erro de sincronia). As duas situações são consideradas como um erro de código longo (*long code*), pois

o código binário gerado com o erro é maior que o código binário necessário para a seleção da tecla correta.

Os três trabalhos, embora possuam em comum o interesse de investigar os erros dos usuários de interfaces de CAA, apresentam objetivos específicos distintos: Makowski *et al* buscava analisar as tendências de erros e as estratégias de correção de erros para realizar uma previsão da taxa de comunicação em um sistema com MAE; Roark *et al* considerou o erro para analisar o desempenho do escaneamento de Huffman em relação a outros padrões de escaneamento; Bhattacharya *et al* buscava investigar a causa dos erros a partir de modelos de comportamentos do usuário.

Considerando os objetivos de investigação a serem desenvolvidos nesse trabalho, foram estabelecidas classificações para as possíveis ações a serem realizadas pelo usuário durante a sua interação com o teclado virtual do Edith. As classificações foram incorporadas no sistema automatizado de registro de dados do módulo de experimentos.

4.2.2 Módulo de experimentos

O módulo de experimentos é composto pela interface, com a qual o usuário irá interagir. Nela está presente o teclado virtual para a transcrição de sentenças pré-estabelecidas e disponibilizadas na caixa de texto para visualização. Além da realização do experimento, o módulo também é utilizado para o treinamento dos usuários. O seu desenvolvimento foi realizado na mesma plataforma em que o sistema foi desenvolvido (.NET, C#, WPF). Os dados gerados nas sessões são registrados em arquivos de extensão XML (*eXtensible Markup Language*) para posterior processamento. A sequência de atividades a serem executadas pelo módulo de experimentos, apresentadas pelo diagrama de blocos da figura 4.5, é descrita da seguinte forma:

1. Começo
2. Fase de treinamento;
3. Fim do intervalo/verificação. O módulo carrega o arquivo de configurações para a próxima sessão;
4. Intervalo de descanso;

5. Fim do intervalo de descanso. Início da contagem regressiva para o começo da sessão;
6. Sessão. O usuário realiza a tarefa de transcrição;
7. Fim da sessão. Verifica se há uma próxima sessão. Se houver mais alguma sessão a ser realizada, o sistema retorna para o passo 3. Como as sessões possuem configurações distintas entre si, existe a necessidade de atualizar as configurações para cada sessão. Caso não haja mais sessões a serem realizadas, o sistema segue para o passo 8;
8. Dados do experimento salvos em arquivo;
9. Fim.

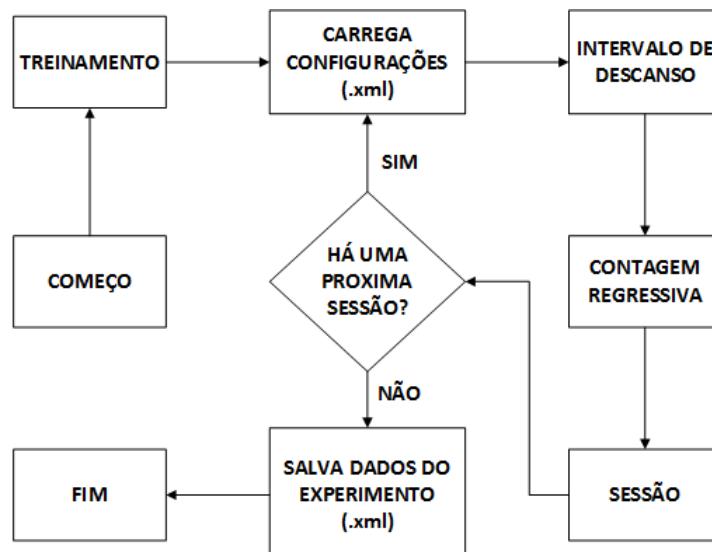


Figura 4.5: Sequência de eventos do módulo de experimentos.

4.2.3 Módulo auxiliar de configurações

Um módulo auxiliar permite estabelecer os parâmetros de configurações do experimento, tais como: taxa de varredura, sentença a ser transcrita, arranjo de teclas e o recurso de atraso de recuperação (esse recurso será explorado detalhadamente no capítulo 6).

4.2.4 Módulo auxiliar de processamento de dados

Um módulo auxiliar realiza o processamento dos arquivos de registro de ações dos experimentos. O sistema classifica as categorias das ações realizadas pelos usuários e realiza o cálculo das variáveis analisadas no estudo (taxa de comunicação, taxa de acerto, probabilidade de erro de seleção e probabilidade de erro de sincronia).

4.3 Resultados

4.3.1 Classificação das ações da interação entre usuário e interface

A figura 4.6 representa as possíveis ações de um usuário em uma tarefa, na qual o usuário deve selecionar a tecla "21" (localizada na 3^a linha da 2^a coluna) de um teclado virtual. Para o sistema em questão, existem seis possibilidades de ações, descritas da seguinte maneira:

- (1) i. seleção da coluna correta, ii. seleção da tecla correta;
- (2) i. seleção da coluna correta, ii. nenhuma tecla foi selecionada;
- (3) i. seleção da coluna correta, ii. seleção da tecla incorreta;
- (4) i. seleção da coluna incorreta, ii. nenhuma tecla foi selecionada;
- (5) i. seleção da coluna incorreta, ii. seleção do item incorreto;
- (6) i. nenhuma coluna foi selecionada

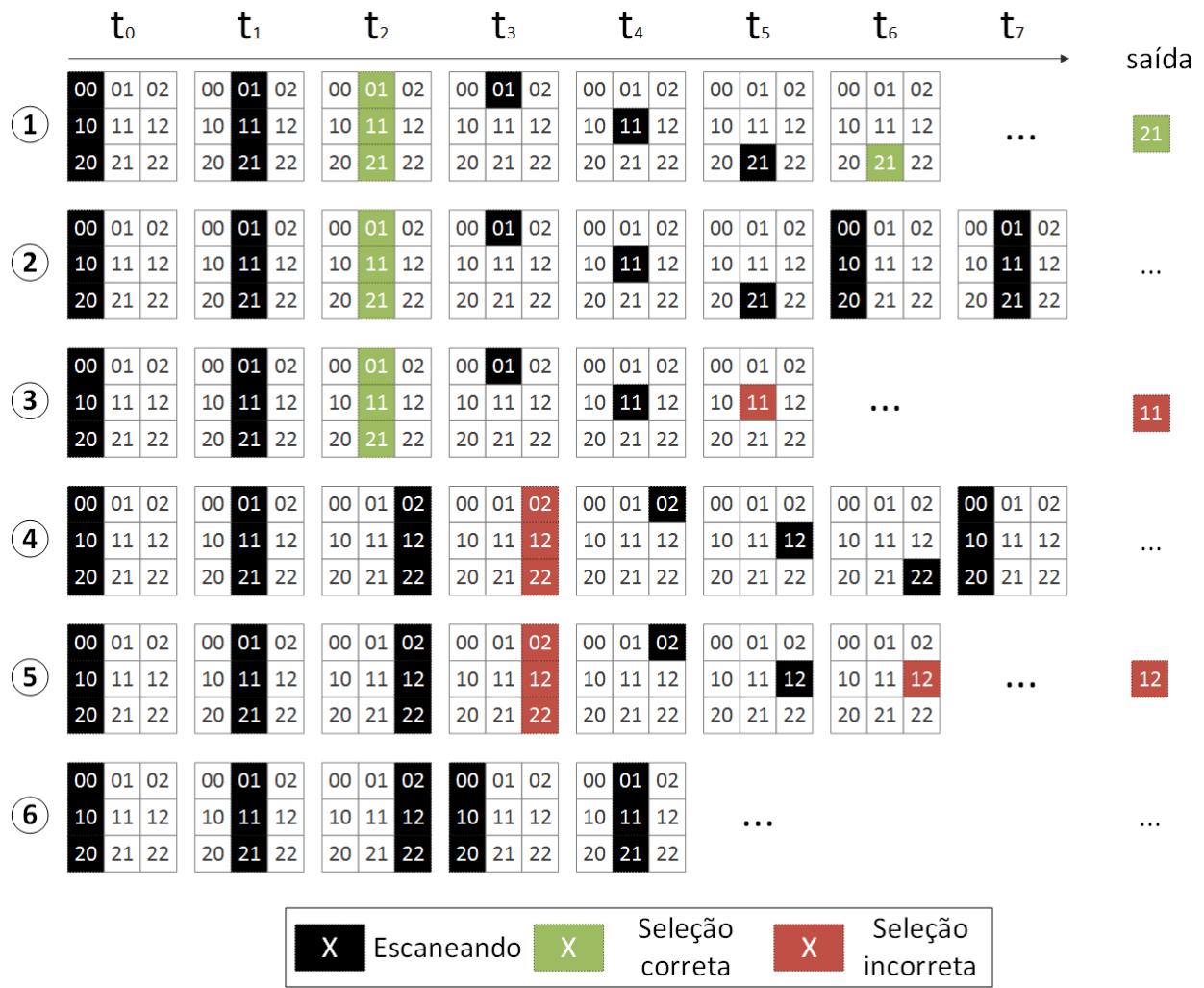


Figura 4.6: Exemplos de ações que o usuário pode realizar durante a interação com o sistema.

As classificações das ações (1-6) são apresentadas na figura 4.7. A tabela 4.1 apresenta a descrição de cada uma das classificações.

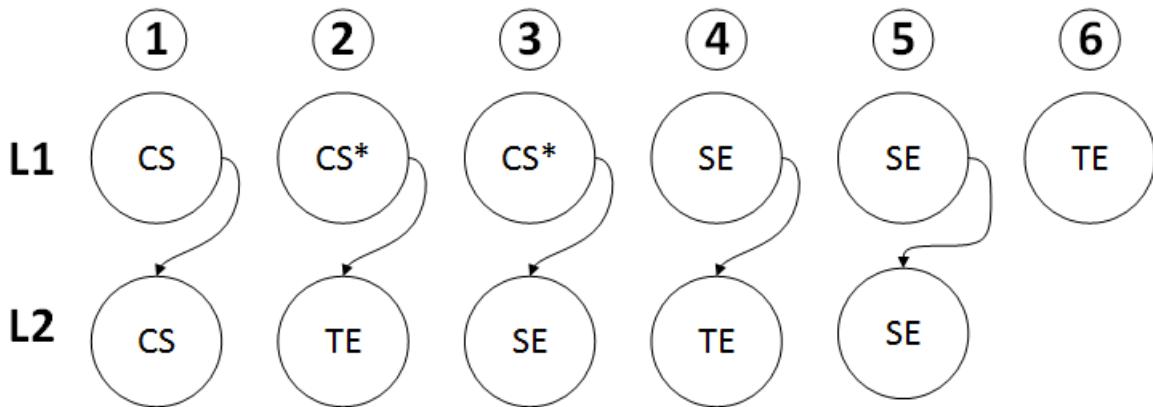


Figura 4.7: Classificações das ações (1-6). L1 representa o 1º nível da matriz (coluna) e L2 o 2º nível da matriz (teclas). CS* representa as seleções corretas que foram canceladas (CSF).

Tabela 4.1: Descrição das classes durante a interação entre o usuário e o sistema

Código	Classe	Nível	Descrição
CS _{L1}	Seleção correta	L1 (Coluna)	Usuário seleciona a coluna correta e em seguida faz uma seleção correta no próximo nível (CS _{L2}).
SE _{L1}	Erro de seleção	L1 (Coluna)	Usuário seleciona a coluna incorreta.
TE _{L1}	Erro de sincronia	L1 (Coluna)	Usuário não realiza nenhuma seleção de coluna durante a varredura de todas as colunas da matriz.
CSF _{L1}	Seleção correta cancelada	L1 (Coluna)	Usuário seleciona a coluna correta e em seguida comete um erro no próximo nível (SE _{L2} ou TE _{L2}).
CS _{L2}	Seleção correta	L2 (Linha)	Usuário seleciona a tecla correta.
SE _{L2}	Erro de seleção	L2 (Linha)	Usuário seleciona a tecla incorreta.
TE _{L2}	Erro de sincronia	L2 (Linha)	Usuário não realiza nenhuma seleção de tecla durante a varredura de todas as linhas da coluna selecionada.

4.3.2 Módulo de experimentos

A interface do módulo de experimentos é apresentada na figura 4.8. O dispositivo de entrada (*switch*) utilizado para o controle da interface foi um *mouse* USB (*Universal Serial Bus*) *wireless* (Logitech, Romanel-sur-Morges, Switzerland). A tabela 4.2 apresenta as configurações do teclado virtual do módulo de experimentos. O ambiente de interação do módulo de experimentos é apresentado na figura 4.8.

Tabela 4.2: Configurações do sistema

Categoria	Tipo
Padrão de escaneamento	Bidimensional (coluna-linha)
Reinicialização	No início da matriz
Taxa de escaneamento	Fixa
Nº de iterações	1
Inicialização	Automático
Predição de caracteres	Ausente
Predição de palavras	Ausente

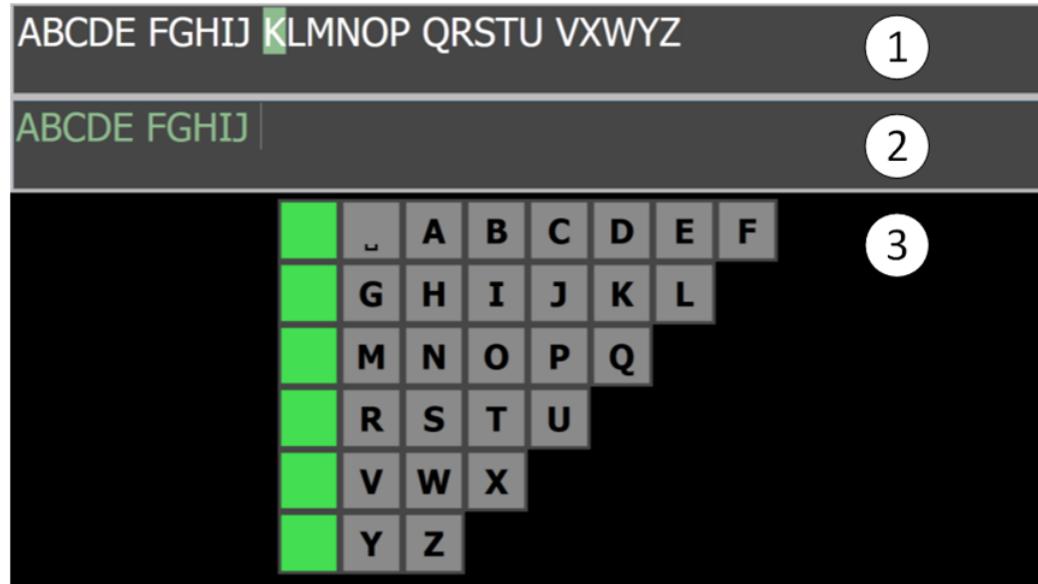


Figura 4.8: Módulo de experimentos do software EDITH. 1) Caixa de texto contendo a frase a ser transcrita; 2) Caixa de texto contendo a informação inserida pelo usuário; 3) Teclado Virtual

A figura 4.9 mostra um ensaio no módulo de experimentos, executado por um voluntário.

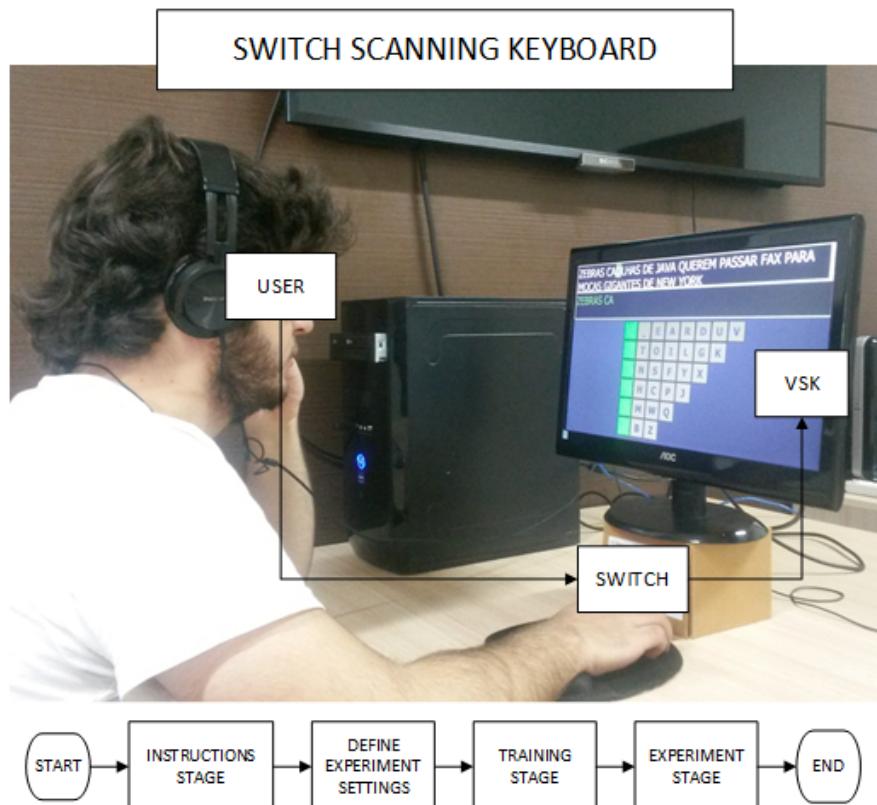


Figura 4.9: Usuário utilizando o sistema.

4.3.3 Módulo auxiliar de configurações

O módulo de configuração de experimentos foi desenvolvido como aplicação de console. Nele é possível gerar os arquivos de configuração para os experimentos em formato (XML). A partir desses arquivos o módulo de experimentos ajusta os parâmetros para as sessões. A figura 4.10 apresenta o módulo de configurações.

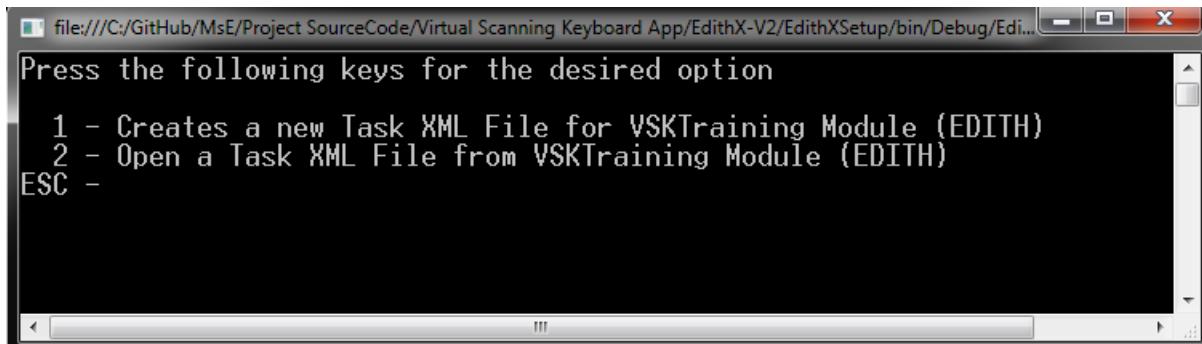


Figura 4.10: Módulo de configurações.

4.3.4 Módulo auxiliar de processamento de dados

O cálculo das variáveis TER, HR, P_{ϵ_s} e P_{ϵ_t} foram incorporadas no módulo de processamento dos dados de experimentos, com base nas equações 4.1, 4.3, 4.4 e 4.5. O módulo permite a filtragem dos dados de acordo com os parâmetros do experimento (Figura 4.11) e os resultados do processamento podem ser salvos em arquivos de texto (TXT) ou em planilhas (XLS). O resultado do processamento dos dados é mostrado nas figuras 4.12 e 4.13.

$$TER = \frac{N_{CS_{L1}} + N_{CS_{L2}}}{\tau_{sessao} + (N_{SE_{L2}} \times \tau_{penalidade})} \quad (4.1)$$

$$\tau_{penalidade} = \tau_{SR} \times (N_{colunas}) + 2 \times (\tau_{reacao} + \tau_{latencia}) \quad (4.2)$$

$$HR = \frac{N_{CS_{L1}} + N_{CS_{L2}}}{N_{CS_{L1}} + N_{CSF_{L1}} + N_{SE_{L1}} + N_{TE_{L1}}} \quad (4.3)$$

$$P(\epsilon_{S_{L1}}) = \frac{N_{SE_{L1}}}{N_{CS_{L1}} + N_{CSF_{L1}} + N_{SE_{L1}} + N_{TE_{L1}}} \quad (4.4)$$

$$P(\epsilon_{T_{L1}}) = \frac{N_{TE_{L1}}}{N_{L1CS} + N_{L1CSF} + N_{L1SE} + N_{L1TE}} \quad (4.5)$$

Onde:

- TER: taxa de comunicação;

- $\tau_{\text{sessão}}$: duração da sessão;
- $\tau_{\text{penalidade}}$: penalidade calculada para um erro de inserção;
- τ_s : tempo de reação médio do usuário;
- τ_o : tempo de latência do sistema para processar as ações do mesmo ($\tau_o \approx T_{SR}$, conforme descrito na seção 3.2);
- HR = taxa de acerto;
- $P(\varepsilon_{S L1})$ = Probabilidade de erros de seleção no 1º nível;
- $P(\varepsilon_{T L1})$ = Probabilidade de erros de sincronia no 1º nível.

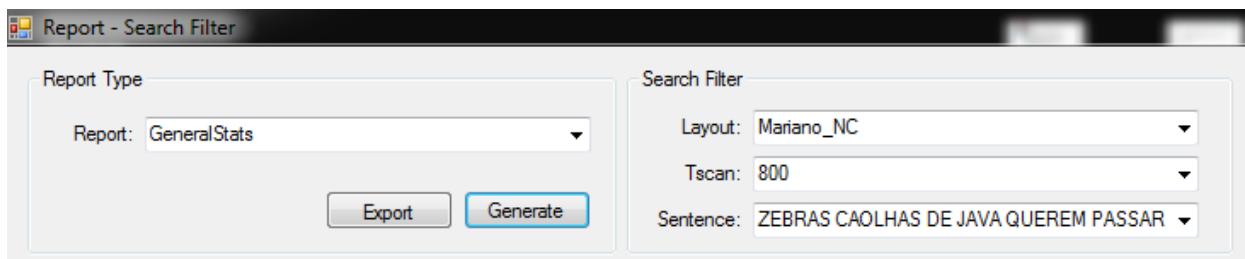


Figura 4.11: Módulo de processamento de dados: Filtros.

ID	Tscan	Sentence	Layout
01_0	600	JANE QUER LP ...	Mariano_NC
01_1	800	ZEBRAS CAOLH...	Mariano_NC
01_2	800	JANE QUER LP ...	Mariano_NC
01_3	800	ZEBRAS CAOLH...	Damper_NC
01_4	600	ZEBRAS CAOLH...	Damper_NC
01_5	600	JANE QUER LP ...	Damper_NC
01_6	600	ZEBRAS CAOLH...	Mariano_NC
01_7	800	JANE QUER LP ...	Damper_NC

Figura 4.12: Módulo de processamento de dados: Categorias.

ID	HitRate	TER	Real_Ts_Avg	Real_Ts_SD	taskDuration	taskPenalty	taskFinalDuration
01_0	0,772277227722...	0,203298016940...	601,1007145762...	0,673525494458...	176865,1493000...	14971,44894591...	191836,5982459...
01_1	0,947368421052...	0,255251481587...	801,1079130311...	1,115389876907...	282074,7584	0	282074,7584
01_2	0,975	0,241004267154...	801,1160394088...	0,817483657252...	161822,8609	0	161822,8609
01_3	0,941176470588...	0,236516439631...	801,0850097112...	0,583166038569...	304418,5855	0	304418,5855
01_4	0,888888888888...	0,274949534794...	601,1148635514...	0,707140618528...	256875,5692	4990,667648713...	261866,2368487...
01_5	0,939759036144...	0,297460153639...	601,1135388127...	0,810058812172...	131109,9975	0	131109,9975
01_6	0,929032258064...	0,322602763360...	601,0920079670...	0,937729484450...	218193,7579	4990,939125095...	223184,6970250...
01_7	0,987341772151...	0,249518620998...	801,1044586734...	0,878900232651...	156300,9600000...	0	156300,9600000...

Figura 4.13: Módulo de processamento de dados: Resultados.

4.4 Discussão

O módulo de experimentos viabiliza a realização de diferentes ensaios com o sistema de escaneamento. O módulo auxiliar de configurações permite o ajuste dos parâmetros de acordo com a investigação a ser conduzida. O módulo auxiliar de processamento dos dados possibilita a análise dos resultados. Variáveis como taxa de comunicação, taxa de erros, tempo de reação, tempo de latência do sistema, entre outras, são calculadas e salvas em arquivos XML.

A plataforma desenvolvida foi utilizada para a realização dos experimentos práticos, detalhados nos capítulos 5 e 6.

Parte IV

Estudos

Capítulo 5

Estudo 1: Arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa

Os teclados virtuais disponíveis comercialmente apresentam modelos de arranjos de teclas padrões. Entre as opções mais frequentes estão as configurações "QWERTY", sequência alfabética e arranjos baseados na frequência de caracteres da língua inglesa. De acordo com as premissas de otimização de arranjos de teclas, usuários que utilizam outros idiomas para se comunicarem, têm sua taxa de comunicação prejudicada ao utilizar sistemas com essas configurações. Este capítulo apresenta um estudo para construção de um arranjo de teclas de um teclado virtual otimizado para um corpus da língua portuguesa. Após a construção desse arranjo, o mesmo foi comparado com outros arranjos da literatura por meio de um experimento computacional e um experimento prático com pessoas saudáveis.

Método: Construção de um arranjo otimizado para um corpus da língua portuguesa. Um experimento computacional foi executado para comparar o desempenho de arranjo construído (L1) com outros sete arranjos da literatura. Para análise foi calculado os valores de SPC dos arranjos para três corpus linguísticos. Em seguida um experimento com participantes foi executado para comparar o desempenho do arranjo L1 com um outro arranjo otimizado para a língua inglesa (L2). Vinte participantes (adultos alfabetizados sem deficiência, 10 mulheres e 10 homens, idade média de 22.10 ± 2.38) transcreveram sentenças utilizando um teclado virtual. Os participantes realizaram a tarefa utilizando os arranjos de teclas L1 e L2.

Resultados: Um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa (L1) foi cons-

truído utilizando o corpus Opus2-Br. No experimento computacional entre os diferentes arranjos, o arranjo L2 apresentou o melhor desempenho para a escrita dos corpus BNC1 e Brown ($SPC_{BNC1} = 4.269$ e $SPC_{Brown} = 4.306$). Para o corpus da língua portuguesa Opus2-Br, o arranjo L1 apresentou melhor desempenho ($SPC_{Opus2-Br} = 4.103$). Para o experimento com participantes, não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes de taxa de comunicação (TER) entre os layouts L1 e L2.

Conclusões: O arranjo de teclas otimizados para a língua portuguesa não apresentou diferenças na taxa de comunicação quando comparado a um arranjo distinto, em tarefas de transcrição com participantes saudáveis. Tal fato é justificado pela incidência de erros que tiveram maior impacto sobre a taxa de comunicação do sistema.

5.1 Introdução

Num sistema com MRL baseado no alfabeto, os itens do teclado são compostos pelas letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z. Algumas variações podem conter a presença de caracteres especiais, tais como: acentos, operadores matemáticos, números e pontuações [22]. O uso de caracteres especiais, embora possibilitem mais oportunidades de comunicação para indivíduos com CNC, pode comprometer o desempenho de sistemas de comunicação por escaneamento.

Um teclado virtual com um número alto de teclas necessita de mais passos de varredura para completar um ciclo de escaneamento, levando a um decréscimo da taxa de comunicação do sistema de comunicação [18] [106]. Diante desse problema, o uso de teclados compostos apenas pelas letras do alfabeto e pelo caracter de espaço torna-se uma opção viável, uma vez que esses elementos são suficientes para a construção de uma comunicação inteligível [20].

Para um sistema de varredura, composto por uma matriz bidimensional com sequência de escaneamento coluna/linha e com reinicialização na posição inicial da matriz, a distância que uma tecla qualquer possui em relação à coordenada inicial (0;0) é diretamente proporcional ao tempo necessário para acessá-la (τ_{selec}). O posicionamento de letras com maior frequência de ocorrência em locais onde seja necessário um menor número de passos de varredura (*scan steps*), pode levar ao aumento da taxa de comunicação [21].

Com base nesse princípio Foulds elaborou um arranjo de teclas utilizando a frequência dos caractéres na língua inglesa [107]. O autor desenvolveu um sistema de comunicação com o arranjo de teclas otimizado, denominado *Tufts Interactive Communicator* (TIC). A figura 5.1 apresenta o teclado do sistema TIC. Observa-se que o número de passos de varredura necessários (S_i) para a seleção de tecla varia ao longo da diagonal da matriz.

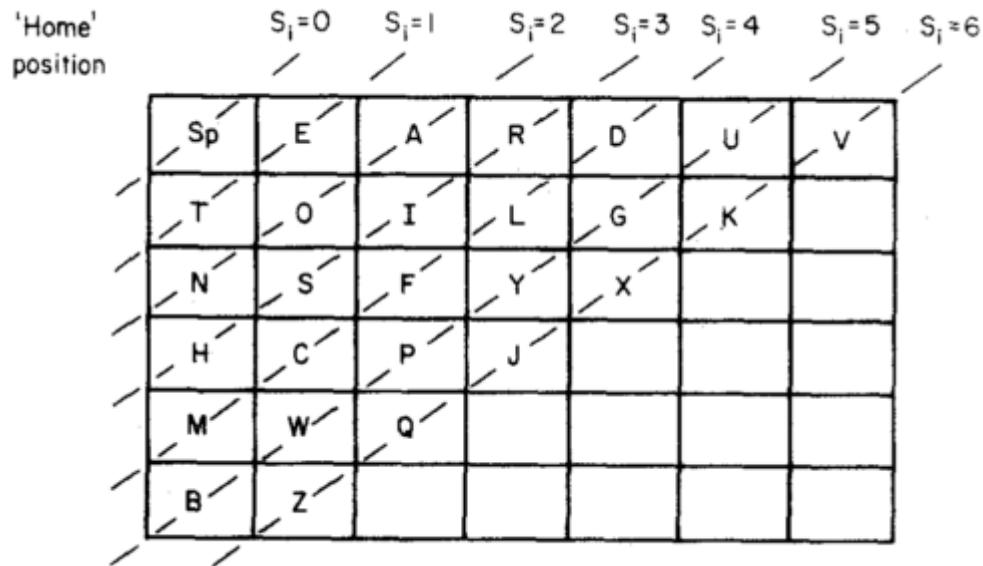


Figura 5.1: Arranjo de caracteres do sistema TIC. S_i é o número de passos de varredura necessários para a seleção de uma tecla. Extraído de [20].

Conforme discutido na seção 1.1 do capítulo 1, observa-se que a maioria dos sistemas de escaneamento disponíveis não possuem um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa. A maioria dos teclados virtuais disponíveis comercialmente utilizam arranjos de teclas baseado nos padrões: (1) QWERTY; (2) ordem alfabética; (3) frequência dos caracteres da língua inglesa [20]. Baseado na premissa estabelecida por Damper (1984) e confirmada pelos trabalhos posteriores de Lesher *et al* (1998), Venkatagiri (1999) e Mackenzie (2012), a construção de um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa poderá beneficiar os usuários que têm o português como língua nativa, uma vez que os estudos sobre os arranjos de teclas indicam que a otimização para um dado contexto possibilita o aumento da taxa de comunicação [20] [22] [23] [24].

Sendo assim, esse capítulo estabelece um estudo para investigar a hipótese em que um arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa apresentará aumento na taxas de comunicação (TER) e na taxa de acerto (HR), e redução nas probabilidades de erros de seleção ($P(\varepsilon_S)$) e de erros de sincronia ($P(\varepsilon_T)$) em uma tarefa de transcrição de sentenças, quando comparado a arranjos com diferentes configurações. O estudo divide-se em três etapas:

1. Construção de um arranjo de teclas, baseado em um corpus da língua portu-

guesa;

2. Comparação entre o arranjo proposto e outros arranjos da literatura:

- Análise computacional: Cálculo da taxa de comunicação estimada dos arranjos de teclas em diferentes corpus linguísticos;
- Análise experimental: Participantes saudáveis executam tarefas de transcrição em um sistema de comunicação com MAE (Módulo de experimentos apresentado no capítulo 4).

5.2 Métodos e materiais

5.2.1 Construção de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa

Para a construção de um arranjo de teclas otimizado para uma língua, é necessário utilizar alguma base de dados que forneça informações estatísticas a respeito dela. Um exemplo de base de dados são os corpus linguísticos. Um corpus linguístico consiste em um conjunto de textos escritos e registros orais em uma determinada língua, que serve de suporte para análises linguísticas. O corpus escolhido para análise foi o corpus Opus2-Br, fornecido pela ferramenta *Sketch Engine*, sendo composto por mais de 100.000 palavras [108]. A tabela 5.1 apresenta algumas das palavras disponíveis no corpus e seus valores de frequência.

Para a análise, foram consideradas apenas as 10.000 com maior frequência do corpus. Hill *et al* (2010) discutem que um conjunto composto de 450 a 500 palavras de alta-frequências conseguem reproduzir de 80 a 85% do conteúdo de uma comunicação [8]. Outra consideração feita é que na análise de frequência dos caracteres, é realizada uma média ponderada do número de ocorrências de um caracter baseado na frequência das palavras em que ele aparece. Palavras com baixos valores de frequência não têm impacto significante na análise de ocorrência de caracteres.

Considerando que o sistema de comunicação explorado no trabalho utiliza apenas os elementos de linguagem básicos, as palavras foram tratadas de forma a remover ocorrências de acentos, pontuações, hífens, numerais e distinções entre letras

maiúsculas ou minúsculas. Após o tratamento, foi observado a existência de palavras repetidas (ex.: **está** e **esta**). Nesses casos, a palavra com menor frequência era removida do corpus. O caracter de espaço ("_") foi inserido ao final de todas as palavras do corpus, de forma semelhante ao trabalho de Mackenzie. O autor assume que o usuário deverá inserir o espaço ao final de cada palavra em um teclado virtual [24].

Tabela 5.1: Exemplo de palavras do Corpus Opus2-Br

Palavra	Frequência
de_	1606523
o_	918491
que_	903569
mais_	181577
outro_	22334
guerra_	7636
materiais_	3753

5.2.2 Experimento computacional: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa

Diferentes arranjos de teclas foram introduzidos por pesquisadores que realizavam estudos de sistemas de escaneamento em CAA [23], [25], [79], [95], [109] e [110]. A tabela 5.2 e a figura 5.2 apresentam os arranjos de teclas propostos por esses estudos.

Tabela 5.2: Descrição e origem dos arranjos de teclas da figura 5.2

Arranjo	Configuração	Fonte
1	ABCDEF	Lesher, 1998 [23]
2	Otimizado para a língua inglesa	Lesher, 1998 [23]
3	Otimizado para a língua inglesa	Mankowski, 2009 [79]
4	QWERTY	Bhattacharya, 2008 [68]
5	Otimizado para a língua inglesa	Szeto, 1993 [109]
6	Otimizado para a língua inglesa	Koester, 1994 [96]
7	QWERTY	Steriadis, 2003 [110]

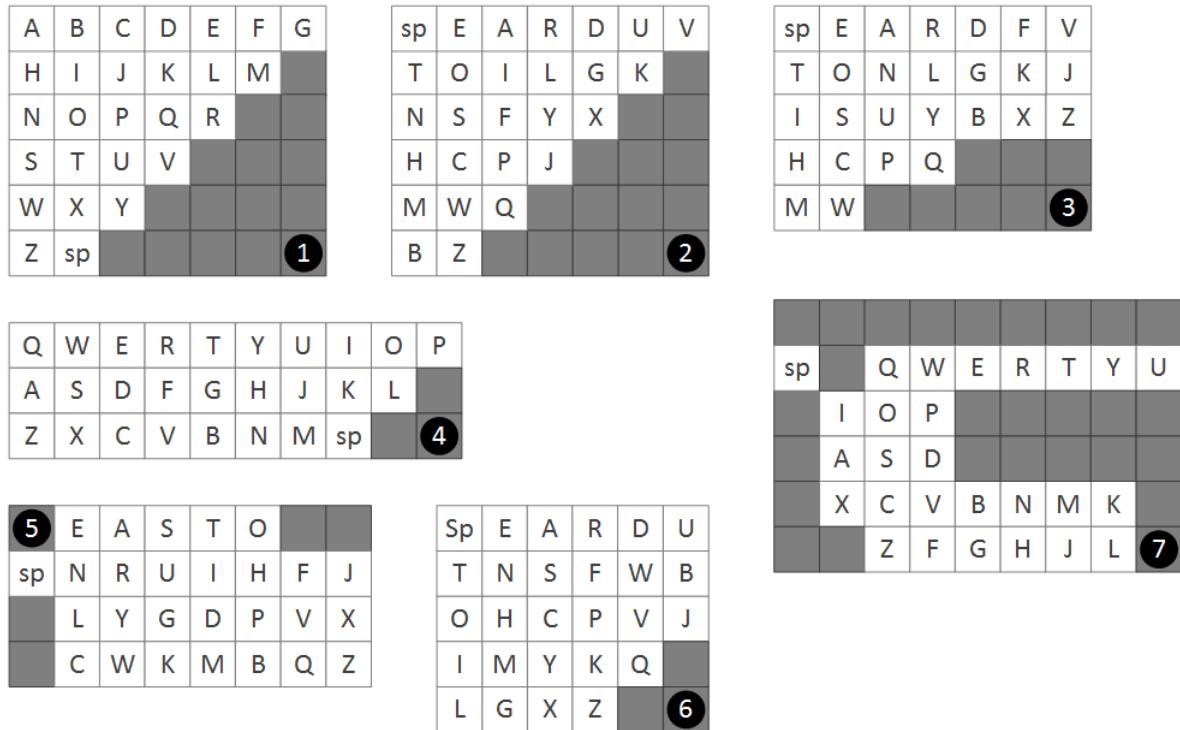


Figura 5.2: Arranjos de teclas de diferentes teclados.

Com o objetivo de comparar a taxa de comunicação de diferentes sistemas de escaneamento, Mackenzie (2012) desenvolveu uma aplicação computacional para o cálculo da métrica SPC (seção 3.3 do capítulo 3). O SPC representa uma medida ponderada do número de passos de escaneamento que um teclado virtual necessita para a escrita de um caractere de um dado contexto linguístico [24]. Foi desenvolvida uma aplicação computacional (Plataforma .NET; C#) para processar diferentes arranjos de teclas e corpus linguísticos e em seguida realizar o cálculo de SPC.

Foram comparados os arranjos de teclas descritos na tabela 5.2 além do arranjo otimizado para a língua portuguesa, desenvolvido neste estudo. A tabela 5.3 apresenta os corpus linguísticos utilizados para a análise. Os mesmos foram extraídos da ferramenta *Sketch Engine* [108].

Tabela 5.3: Informações dos corpus linguísticos

Corpus	Idioma	Tamanho
BNC-1	Inglês	9022
Brown	Inglês	41542
Opus2	Português (Br)	10000

5.2.3 Experimento prático: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa em tarefas de transcrição

Definição do experimento

Em avaliações práticas de diferentes métodos de inserção de texto (*Text entry methods*), participantes produzem textos utilizando uma técnica a ser investigada, enquanto os dados de desempenho são registrados [111]. Permitir que os participantes produzam textos livremente, embora se aproxime de um contexto real de comunicação, poderia implicar em problemas metodológicos. A dificuldade em se avaliar a precisão da tarefa nesse caso, uma vez que não há um texto de origem para comparação, poderia comprometer as medidas de desempenho. Sendo assim, opta-se nesses estudos por apresentar textos pré-selecionados aos participantes. Mackenzie *et al* (2003) apresentaram uma coleção de 500 sentenças escritas em língua inglesa, apropriadas para avaliações de métodos de entrada de texto [111]. Roark *et al* (2013) e Mankowski *et al* (2013) utilizaram algumas dessas frases para a realização de seus experimentos com sistemas de escaneamento [16] [17].

Para a realização do estudo apresentado nessa seção, foi necessário escolher um conjunto de frases da língua portuguesa, de modo a corresponder à língua nativa dos participantes do experimento. Outro aspecto relevante é que essas frases deveriam possuir pelo menos uma ocorrência de cada letra do alfabeto. Tal critério foi adotado para que se pudesse observar se os arranjos de teclas avaliados apresentariam diferenças de desempenho. Embora o emprego de frases comuns poderiam facilitar a digitação pela antecipação das letras, não seria possível garantir a ocorrência de todas as 26 letras do alfabeto. Por essa razão, foram escolhidos sentenças que possuíssem todos os caracteres da língua portuguesa, denominados por pangramas. Prabhu *et al* (2011) e Mariano *et al* (2014) utilizaram pangramas para investigarem o desempenho de seus sistemas de CAA [69] [103].

Os arranjos de teclas avaliados no experimento foram: o arranjo de teclas (L1) otimizado para a língua portuguesa desenvolvido neste capítulo e o arranjo de teclas (L2) otimizado para a língua inglesa (arranjo nº2 da tabela 5.2) [23]. A partir dos aspectos estatísticos (frequência de ocorrência dos caracteres) desses arranjos de

teclas, foram escolhidos dois pangramas para as tarefas de transcrição: (**S1**) *JANE QUER LP FAX CD GIZ TV E BOM WHISKY* e (**S2**) *“ZEBRAS CAOLHAS DE JAVA QUEREM PASSAR FAX PARA MOCAS GIGANTES DE NEW YORK”*. O esforço de varredura dos arranjos para cada sentença foi calculado de acordo com o número de passos de varredura por item da matriz (figura 5.3) e o número de ocorrências dos caracteres em cada sentença.



Figura 5.3: Diferença entre os arranjos de teclas. (1) Arranjo de teclas L1; (2) Arranjo de teclas L2; (3) Esforço de varredura por tecla.

A diferença do esforço de varredura para a escrita da sentença S1 entre os arranjos de teclas L1 e L2 pode ser desconsiderada ($EV_{L1} \approx EV_{L2}$). Já o esforço de varredura para a escrita da sentença S2 é maior para o arranjo L2 em comparação ao arranjo L1 ($EV_{L2} > EV_{L1}$). A tabela 5.4 apresenta informações a respeito das sentenças.

Tabela 5.4: Informações sobre as sentenças para transcrição do experimento

	Sentenças	Tamanho	EV _{L1}	EV _{L2}	Natureza
S1	JANE QUER LP FAX CD GIZ TV E BOM WHISKY	39	112	113	Neutra
S2	ZEBRAS CAOLHAS DE JAVA QUEREM PASSAR FAX PARA MOCAS GIGANTES DE NEW YORK	72	168	189	L1

A taxa de varredura (T_{SR}) estipulada por calibração pode proporcionar melhorias na taxa de comunicação (TER), uma vez que permite estimar as taxas de varreduras mais adequadas a ponto de proporcionar ao usuário condições adequadas para o controle do sistema de escaneamento. Esse controle considera a incidência de erros dentro de um limiar tolerável. Entretanto o maior valor de T_{SR} não irá necessariamente produzir um maior valor de TER [77].

Um estudo piloto foi executado com 17 voluntários saudáveis, no qual os participantes deveriam executar tarefas de transcrição sobre quatro valores de T_{SR} (250, 400, 600 e 800 ms). Com base nos dados observados nesse piloto, 600 e 800 ms permitiram a execução da tarefa dentro de uma margem de erro tolerável (de 5 a 15% de taxa de erro [16] [104]). Velocidades mais lentas foram ignoradas para garantir uma taxa consistente e evitar a frustração dos participantes. Em uma das condições avaliadas no estudo de Roark *et al* (2015), indivíduos saudáveis controlaram um sistema de escaneamento similar ao utilizado nesse estudo, a uma T_{SR} fixa de 600 ms [77].

Tabela 5.5: Taxas de escaneamento

Taxa de escaneamento	Tempo de reação baseado na "regra .65"
600 ms	390 ms
800 ms	520 ms

A sequência das tarefas foram geradas de forma randômica para cada participante antes do início dos experimentos. As tarefas propostas foram construídas a partir da combinação dos três parâmetros de controle do estudo: arranjo de teclas, sentença a ser transcrita e T_{SR} .

Cálculo amostral

O cálculo amostral tem como objetivo verificar o número (n) de indivíduos necessários para o experimento segundo critérios estatísticos. Com base nos estudos [16], [86], [68], [112], [113], e [114] foi escolhida como variável dependente da análise em questão a taxa de comunicação (TER).

No trabalho de Roark, dezesseis (16) indivíduos foram submetidos a uma tarefa de escrita em um sistema de escaneamento semelhante ao proposto pelo projeto vigente [16]. Em sua amostra foi observado um valor médio de **TER** = 19.6 CPM e de desvio padrão σ = 3.2 CPM. A margem de erro (**E**) nesse estudo foi de 1.568 CPM.

Com base nos dados desse estudo, foram adotados os valores de significância estatística α = 0.05 , σ = 3.2 CPM **E** = 1.4 CPM. A partir desses valores foi realizado o cálculo do tamanho amostral necessário para a pesquisa. O cálculo para o

número mínimo de voluntários por grupo necessários para a realização da pesquisa é desenvolvido no equacionamento abaixo:

$$n = Z_{(\frac{\alpha}{2})}^2 \frac{\sigma^2}{E^2} \quad (5.1)$$

$$n = Z_{(0.025)}^2 \frac{\sigma^2}{E^2} \quad (5.2)$$

$$n = 1.96^2 \times \frac{3.2^2}{1.4^2} = 20.07 \quad (5.3)$$

Participantes

A coleta de dados para este estudo foi realizado no Laboratório de Engenharia Biomédica (BIOLAB) da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia (CEP/UFU) aprovou este estudo (46016615.8.0000.5152). O estudo contou com 20 adultos, alfabetizados, sem quaisquer deficiências físicas, na faixa etária entre 18 e 30 anos ($\bar{X} = 22.10 \pm 2.38$), sendo entre eles, 10 mulheres e 10 homens. Os participantes eram estudantes da mesma instituição com capacidades cognitiva, motora, sensorial, linguística, intactas. Eles não possuíam experiência com sistemas de CAA.

Os participantes, ao estarem de acordo com os termos explicitados no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), assistiram a um vídeo de instruções sobre as tarefas a serem realizadas durante o experimento. O experimento teve uma duração média de 40 minutos por participante, além do tempo adicional destinado para a leitura e assinatura do TCLE e para o vídeo de instruções. Os critérios de inclusão para os participantes foram:

- Idade entre 18 e 30 anos;
- Não apresentar acometimento visual ou auditivo grave;
- Não apresentar déficit cognitivo;
- Ser alfabetizado.

Os critérios de exclusão para os participantes foram:

- Ter consumido álcool nas últimas 24hrs antes do dia do experimento;

- Ter consumido medicamentos que possam causar sonolência;
- Não ter dormido no dia anterior ou apresentar sinais de cansaço antes do experimento;
- Não compreender as instruções fornecidas para a realização das tarefas.

Plataforma de experimentos

Para a execução do estudo, os participantes utilizaram o módulo de experimentos desenvolvido e apresentado no capítulo 4.

Treinamento

No início da fase de treinamento, os usuários foram submetidos a um vídeo de instruções, detalhando as tarefas a serem executadas durante as sessões. Em seguida, os mesmos realizavam uma fase de treinamento com o sistema de CAA (EDITH). A fase de treinamento é importante para que os participantes assimilem as características básicas de funcionamento do sistema tais como disposição dos objetos na interface gráfica, velocidade de varredura do teclado virtual, estímulo visual emitido pela varredura do teclado, latência do sistema ao efetuar um comando para seleção, entre outras. O arranjo das teclas utilizados na fase de treinamento seguiam a sequência alfabética, para diferenciar dos arranjos L1 e L2.

Análise estatística

Após a fase de experimentos, os dados processados foram separados em dois grupos de acordo com os arranjos de teclas utilizado em cada sessão (L1 e L2). Os dados de cada grupo foram submetidos a um teste de Wilcoxon Pareado ($\alpha = .05$) para verificar se houve diferença estatística de taxa de comunicação (TER), taxa de acerto (HR) e probabilidade de erro, entre os grupos. A figura 5.4 apresenta o diagrama contendo os parâmetros da análise estatística.

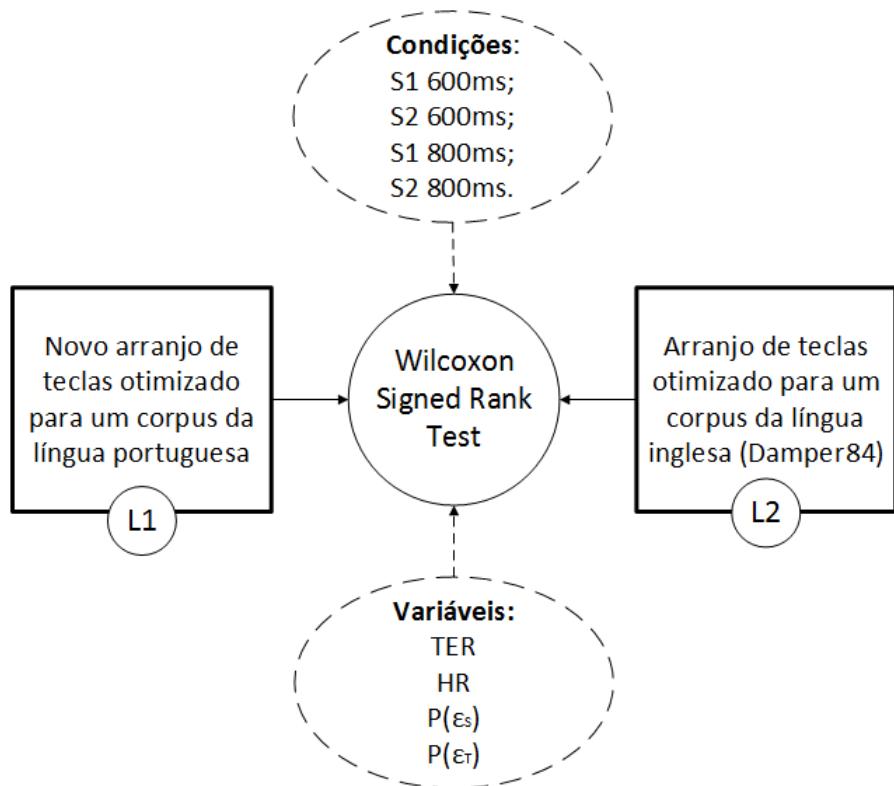


Figura 5.4: Análise 1: Comparação entre os diferentes arranjos de teclas.

5.3 Resultados

5.3.1 Construção de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa

A partir dos dados obtidos do corpus da língua portuguesa Opus2-Br, foi determinado a probabilidade de ocorrências dos caracteres, apresentado na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Probabilidade de ocorrência dos caracteres em um corpus da língua portuguesa (Opus2-Br - Sketch Engine)

Tecla	Probabilidade	Tecla	Probabilidade	Tecla	Probabilidade
A	0,100958	J	0,002396	S	0,064996
B	0,00779	K	0,000781	T	0,036086
C	0,030154	L	0,022705	U	0,045599
D	0,035972	M	0,044675	V	0,013542
E	0,111197	N	0,036164	X	0,001513
F	0,008797	O	0,092281	Y	0,000961
G	0,010651	P	0,018381	W	0,000347
H	0,011527	Q	0,014513	Z	0,003573
I	0,048635	R	0,050814	sp	0,184991

A construção do arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa seguiu o procedimento adotado por Foulds *et al* (1972): as letras com maior probabilidade de ocorrência foram posicionadas nas coordenadas que levavam o menor tempo para serem acessadas por escaneamento (τ_{acesso}) [21]. O arranjo obtido é apresentado na figura 5.5.

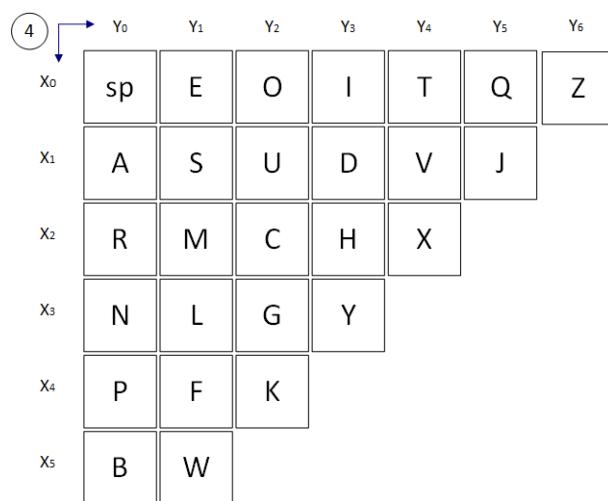


Figura 5.5: Arranjo de teclas otimizado para a língua portuguesa (L1).

5.3.2 Experimento computacional: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa

Após a simulação computacional do desempenho de cada arranjo de teclas em cada um dos corpus avaliados, foram obtidos os valores de SPC. Os resultados foram organizados na tabela 5.7.

Tabela 5.7: Desempenho dos teclados em diferentes corpus

Arranjos	BNC1	Brown	Opus2
1	5,779	5,774	5,793
L2	4,269	4,306	4,319
3	4,283	4,318	4,299
4	7,426	7,400	7,305
5	5,346	5,371	5,338
6	4,284	4,321	4,348
7	7,396	7,439	7,038
L1	4,459	4,471	4,103

Para os corpus da língua inglesa BNC1 e Brown, o arranjo L2 apresentou melhor desempenho. O corpus da língua portuguesa Opus2 apresentou melhor desempenho para o arranjo proposto L1.

5.3.3 Experimento prático: análise das taxas de comunicação do arranjo otimizado para a língua portuguesa em tarefas de transcrição

Após a realização dos experimentos, foi realizado o processamento dos dados coletados de forma a obter os valores referente às variáveis dependentes investigadas: taxa de comunicação (TER), taxa de acerto (HR), probabilidade de erro de seleção ($P(\varepsilon_S)$) e probabilidade de erro de sincronia ($P(\varepsilon_T)$). As tabelas 5.8 e 5.9 apresentam os resultados das sessões, separadas de acordo com os parâmetros da tarefa proposta (taxa de varredura, sentença a ser transcrita e arranjo de teclas).

Tabela 5.8: Resultados da tarefa de transcrição com $\tau_{SR} = 600$ ms

Condição	TER		HR		P(ε_S)		P(ε_T)	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
L1 S1	15,00	1,99	85,70%	4,86%	4,33%	1,86%	12,83%	7,82%
L2 S1	16,17	2,36	88,84%	6,11%	3,59%	2,45%	10,34%	6,68%
L1 S2	16,34	2,53	85,83%	6,43%	3,97%	3,64%	12,85%	5,16%
L2 S2	17,42	2,14	90,10%	4,83%	3,45%	1,68%	8,77%	5,25%

Tabela 5.9: Resultados da tarefa de transcrição com $\tau_{SR} = 800$ ms

Condição	TER		HR		P(ε_S)		P(ε_T)	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
L1 S1	13,02	2,12	91,64%	7,56%	1,86%	2,07%	8,63%	8,06%
L2 S1	13,39	1,48	92,64%	5,06%	3,11%	2,34%	5,72%	5,22%
L1 S2	14,42	1,95	91,92%	5,60%	3,24%	2,65%	6,21%	5,21%
L2 S2	14,25	1,29	93,7%	4,02%	2,28%	2,30%	5,73%	4,71%

As tabelas 5.10 e 5.11 apresentam as comparações entre os arranjos L1 e L2, para τ_{SR} iguais a 600 e 800ms, respectivamente. Para a comparação entre os arranjos L1 e L2 com $\tau_{SR} = 600$ ms, pode-se observar que não houve diferença estatisticamente significativa na TER. A HR apresentou diferença significativa para as sentenças S1 ($p < .083$) e S2 ($p < .023$), de 3.13% e 4.27% favoráveis a L2. A P(ε_T) apresentou diferença significativa para a sentença S2 ($p < .044$), de 4.07% favorável a L2.

Para a $\tau_{SR} = 800$ ms, não foi observada diferença significativa entre L1 e L2 para a TER e P(ε_T). Foram identificadas diferenças para P(ε_S): Na sentença S1 houve uma diferença de 1.25% ($p < .065$) favorável a L1 enquanto que para a sentença S2 houve uma diferença de 0.96% ($p < .049$) favorável a L2. A HR apresentou diferença estatisticamente significativa de 1.78 % ($p < .065$) favorável a L2, para a escrita da sentença S2.

Tabela 5.10: Análise estatística: Comparação entre os arranjos L1 e L2 com $\tau_{SR} = 600\text{ms}$.

Condição	TER		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)
S1	-1,165	0,177	-3,13%	0,083	0,75%	0,159	2,49%	0,296
S2	-1,073	0,191	-4,27%	0,023	0,52%	0,985	4,07%	0,044

Tabela 5.11: Análise estatística: Comparação entre os arranjos L1 e L2 com $\tau_{SR} = 800\text{ms}$.

Condição	TER		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)	L1 - L2	(p)
S1	-0,361	0,881	-0,99%	1,000	-1,25%	0,065	2,91%	0,177
S2	0,168	0,550	-1,78%	0,065	0,96%	0,049	0,49%	0,777

5.4 Discussão

A métrica SPC é sensível à escolha do corpus linguístico, conforme observado por Mackenzie (2012) [24]. O experimento computacional mostrou que um teclado com arranjo de teclas otimizado para um dado contexto linguístico tem uma taxa de comunicação estimada superior quando comparado a arranjos que desconsideram a frequência de caracteres. Tal aspecto tem impacto em sistemas de escaneamento, uma vez que as teclas posicionadas no início da matriz possuem um custo de acesso inferior quando comparado a outras teclas [21]. Entretanto, os experimentos computacionais e práticos apresentaram divergências com relação ao emprego do arranjo de teclas otimizados para um dado contexto linguístico.

O comportamento observado na análise computacional, na qual o arranjo L1 apresentou melhor desempenho que o arranjo L2 para a escrita de palavras do corpus Opus2-br, não foi verificado na análise prática. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as taxas de comunicação dos arranjos L1 e L2 para a transcrição das sentenças S1 e S2. Embora o SPC seja uma métrica utilizada para a construção de arranjos de teclas, os resultados práticos mostraram que a métrica possui limitações, por não considerar as incidências de erros. De acordo com os resultados, a ocorrência dos erros durante a interação entre o usuário e sistema, teve maior im-

pacto sobre a taxa de comunicação do sistema do que a estratégia de se utilizar um teclado com arranjo de teclas otimizado. Entretanto é necessário considerar que apesar do período de treinamento antes das sessões, parte dos erros cometidos pelos participantes podem ser justificados pelo fato de estes serem usuários inexperientes.

Koester *et al* (1994) realizaram um estudo para avaliar o desempenho de usuários saudáveis em sistemas de escaneamento com predição de palavras. Nos resultados obtidos nesse estudo, é possível observar a melhoria do desempenho dos usuários ao longo das sessões realizadas [96]. Uma inferência plausível é de que a medida em que os usuários utilizam o sistema, os mesmos assimilam as características de operação e assim, tornam-se menos propensos a cometerem erros. A mesma analogia poderia ser adotada para o estudo apresentado nesta seção, uma vez que os participantes poderiam aprender o posicionamento das teclas de cada um dos arranjos a medida em que utilizassem o sistema. Sendo assim, é possível deduzir que potenciais usuários de sistemas de escaneamento (indivíduos com DMS) também apresentariam mudanças em seu desempenho a medida em que utilizassem o sistema.

No estudo de Bhattacharya *et al* (2008), onde os autores buscavam explorar as características dos erros de usuários com DMS, foram realizadas sessões em um período de oito meses. Os autores discutem que os participantes apresentaram dificuldades em completar as tarefas designadas a eles nos experimentos, justificando o período longo de realização do estudo [25]. A limitação do período de treinamento e da duração dos experimentos podem afetar o período de aprendizagem de um participante com uma ferramenta CAA, sugerindo que a investigação dos arranjos de teclas deveria ser conduzida com usuários que possuem um maior tempo de experiência com essas configurações.

Capítulo 6

Estudo 2: Atraso de recuperação com feedback visual

Teclados virtuais são utilizados como dispositivos de CAA para pessoas com CNC. Baixas taxas de comunicação e ocorrência considerável de erros são alguns dos problemas que os usuários de sistemas de escaneamento sofrem no uso diário. Este capítulo apresenta uma configuração alternativa para teclados virtuais utilizando o recurso de atraso de recuperação com *feedback* visual. O recurso foi desenvolvido e avaliado em um experimento com participantes saudáveis executando tarefas de transcrição em um sistema de escaneamento.

Método: 42 participantes (adultos alfabetizados sem deficiência, 22 mulheres e 20 homens, com idade média de 23.05 ± 2.87) transcreveram sentenças utilizando um teclado de varredura virtual. Participantes do grupo 1 (G1) realizam a tarefa utilizando um teclado de configuração tradicional, enquanto que os participantes do grupo 2 (G2) utilizaram um teclado com atraso de recuperação (RD - *Recovery delay*). Foram analisados a taxa de comunicação (TER), taxa de acerto (HR) e a probabilidade de ocorrência de erros, especificamente, erros de seleção ($P(\varepsilon_S)$) e de sincronia ($P(\varepsilon_T)$).

Resultados: O atraso de recuperação promoveu a redução de 9.41% ($p = .000$) e 2.50% ($p = .001$) de $P(\varepsilon_S)$ e de $P(\varepsilon_T)$, respectivamente, para as condições com taxa de varredura (τ_{SR}) de 600 ms. Para as condições com SR de 800 ms, o atraso de recuperação causou uma redução de TER (de 0.976 para 1.47 CPM), embora $P(\varepsilon_S)$ e $P(\varepsilon_T)$ tenham sofrido redução de 2.22% ($p = .020$) e 4.92 ($p = .002$), respectivamente. A configuração com atraso de recuperação a uma τ_{SR} de 600 ms quando comparado

a configuração tradicional, por sua vez a uma τ_{SR} de 800 ms, mostrou um aumento da TER de 2.42 CPM ($p = .000$) e reduções de $P(\varepsilon_S)$ e de $P(\varepsilon_T)$ de até 1.91% ($p = .042$) e 5.21 % ($p = .005$) respectivamente.

Conclusão: O atraso de recuperação através da inserção de teclas adicionais na posição inicial da matriz aumentou a duração de tempo que o usuário tem para evitar um erro de sincronia (T_{avail}), o que consequentemente promoveu uma redução desse tipo de erro.

6.1 Introdução

Os erros em teclados virtuais afetam significativamente sua taxa de comunicação, especialmente quando existe a necessidade de correção de dados inseridos incorretamente. No estudo de Bhattacharya *et al.*, seis indivíduos com DMS realizaram a transcrição de textos, utilizando um dispositivo de entrada para sistemas de escaneamento [25]. Os autores identificaram a ocorrência de dois tipos principais de erros: erros de sincronia (quando o indivíduo deixa de acionar o dispositivo de entrada quando a tecla alvo encontra-se em destaque) e erros de seleção (quando o indivíduo seleciona a tecla incorreta). Esses erros foram responsáveis por aumentar o tempo das sessões dos usuários em até 65% para os erros de sincronia, e em até 35% para os erros de seleção.

Com base na análise de seus dados, os autores desenvolveram um modelo de transição de estados do comportamento de um usuário durante a interação com o sistema de escaneamento (especificamente entre a seleção de duas teclas k_i e k_j). O modelo possibilitou uma explicação para a ocorrência desses erros. Eles identificaram que os erros de sincronia podiam ser explicados pelos seguintes motivos: (1) a duração de tempo em que um item alvo encontra-se em destaque não foi suficiente para o usuário se recuperar de sua última seleção, se preparar, e em seguida executar a seleção do próximo alvo; (2) esperas longas podem levar o usuário a um estado de desatenção, uma vez que ele não consegue manter a atenção em uma fonte de estímulo visual por qual período de tempo arbitrário [25]. Em outras palavras, os erros podem ser explicados devido a dificuldade em se realizar transições de estados apropriadamente.

No estudo de Mankowski *et al.*, cinco usuários de sistemas de escaneamento, diagnosticados com paralisia cerebral, transcreveram sentenças utilizando um teclado virtual com padrão de varredura bidimensional (linha-coluna) [17]. Um dos achados do estudo foi de que as teclas localizadas na primeira linha registraram maior incidência de erros do que em outras áreas da matriz. Os autores atribuem esse problema à falta de um atraso de recuperação (RD - *recovery delay*) do teclado virtual. O atraso de recuperação pode ser descrito como um tempo adicional inserido no início da matriz (na primeira linha ou coluna) com o propósito de fornecer tempo adicional para o usuário se recuperar da última seleção realizada [28]. Embora o objetivo do recurso

seja de reduzir a incidência de erros para os alvos localizados no início da matriz, dois participantes do estudo que utilizaram o atraso de recuperação registraram um aumento dos erros nessa região. Os autores acreditam que a reação desses indivíduos foi de antecipar a ativação, causando uma seleção precoce.

6.2 Métodos e materiais

Uma hipótese proposta neste trabalho é de que o atraso de recuperação padrão não fornece uma noção temporal do escaneamento. Dessa forma, o usuário tem dificuldade em sincronizar sua ação com a ritimicidade da varredura. Entretanto, se o atraso de recuperação possuir uma forma de *feedback*, o usuário deverá ser capaz de avançar ou atrasar o momento de seleção de maneira apropriada. Diante disso, este capítulo apresenta uma configuração de teclado virtual com atraso de recuperação, utilizando *feedback* visual. Para inserir esse recurso no teclado, teclas vazias foram inseridas na posição inicial da matriz (uma coluna composta por essas teclas). No início de cada ciclo, o sistema inicia o escaneamento pela coluna com teclas vazias, proporcionado um passo de varredura adicional antes de acessar qualquer elemento do teclado, conforme ilustrado na figura 6.1.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3
4 5 6 7	4 5 6 7	4 5 6 7	4 5 6 7	4 5 6 7	4 5 6 7
8 9 10 11	8 9 10 11	8 9 10 11	8 9 10 11	8 9 10 11	8 9 10 11
12 13 14 15	12 13 14 15	12 13 14 15	12 13 14 15	12 13 14 15	12 13 14 15

Figura 6.1: Teclado com atraso de recuperação com *feedback* visual.

Um experimento com participantes saudáveis foi realizado, no qual os voluntários utilizaram um sistema de escaneamento para a transcrição de textos. Os participantes foram divididos em dois grupos: **(G1)** utilizando um teclado padrão e **(G2)** utilizando um teclado com o recurso proposto.

6.2.1 Experimento com indivíduos saudáveis

Definição do experimento

A definição do experimento neste esse estudo é semelhante ao apresentado no experimento descrito na sessão 5.2.3 do capítulo 5.

Cálculo amostral

O cálculo amostral para este estudo é semelhante ao apresentado no experimento descrito na sessão 5.2.3 do capítulo 5.

Participantes

A coleta de dados para este estudo foi realizado no Laboratório de Engenharia Biomédica (BIOLAB) da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia (CEP/UFU) aprovou este estudo (46016615.8.0000.5152). O estudo contou com 42 adultos, alfabetizados, sem quaisquer deficiências físicas, na faixa etária entre 18 e 30 anos ($\bar{X} = 23.05 \pm 2.87$), sendo entre eles, 22 homens e 20 mulheres.

Os dados obtidos pelo experimento apresentado no capítulo 5, em que 20 indivíduos realizaram tarefas de transcrição com um teclado virtual padrão, foram utilizados para a composição do grupo G1. Os demais 22 indivíduos realizaram as tarefas de transcrição utilizando as mesmas configurações de experimento (taxas de escaneamento, arranjos de teclas, sentenças). A única diferença foi que os indivíduos desse grupo (G2) utilizaram um teclado com o recurso de atraso de recuperação proposto. Os participantes desse grupo também eram estudantes da mesma instituição com capacidades cognitiva, motora, sensorial, linguística, intactas, na faixa etária entre 18 e 30 anos ($X = 23.92 \pm 2.99$), sendo entre eles, 9 mulheres e 11 homens.

A figura 6.2 apresenta a distribuição dos participantes em cada um dos grupos.

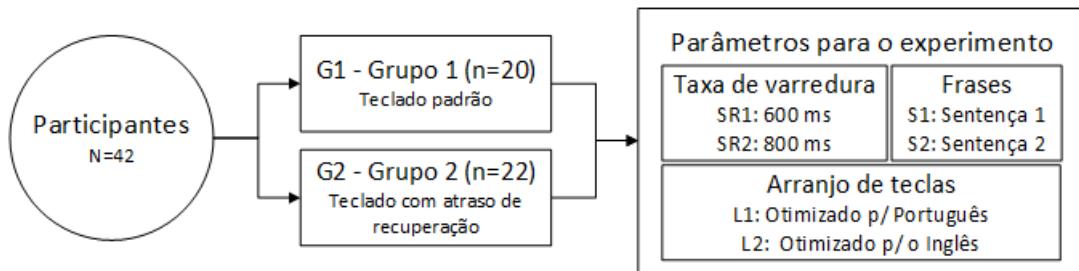


Figura 6.2: Distribuição dos participantes entre os grupos.

Os critérios de inclusão e de exclusão para os participantes foram os mesmos critérios utilizadas no experimento apresentado na sessão 5.2.3 do capítulo 5.

Plataforma de experimentos

Para a execução do estudo, os participantes utilizaram o módulo de experimentos desenvolvido e apresentado no capítulo 4.

Treinamento

A descrição do treinamento neste estudo é semelhante ao apresentado no experimento descrito na sessão 5.2.3 do capítulo 5.

6.2.2 Análise estatística

Análise 1

O objetivo desta análise foi a de realizar a comparação entre o teclado padrão e o teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback* visual. As comparações foram realizadas entre os dados com uma mesma T_{SR} . Para a análise estatística foi utilizado o teste Mann-Whitney U, com $\alpha = .05$. A figura 6.3 apresenta o diagrama contendo os parâmetros da análise estatística.

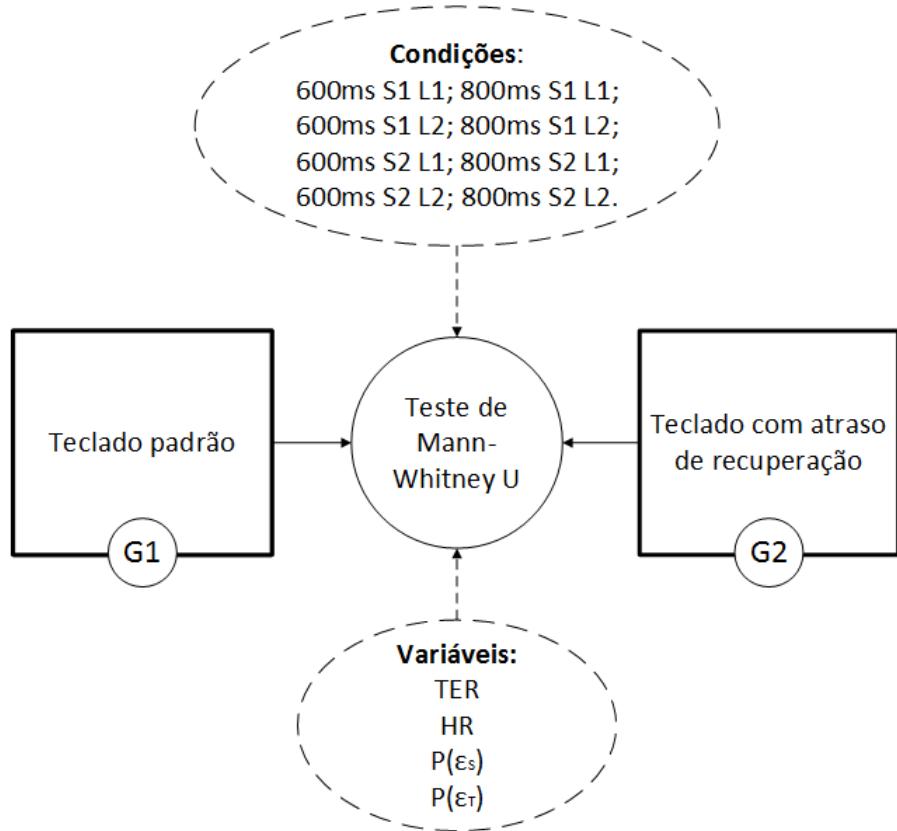


Figura 6.3: Análise 1: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback visual* e o teclado padrão a uma mesma velocidade de varredura.

Análise 2

O objetivo desta análise foi a de realizar a comparação entre o teclado padrão e o teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback visual*. As comparações foram realizadas entre os dados com diferentes valores de T_{SR} . Para a análise estatística foi utilizado o teste Mann-Whitney U, com $\alpha = .05$. A figura 6.4 apresenta o diagrama contendo os parâmetros da análise estatística.

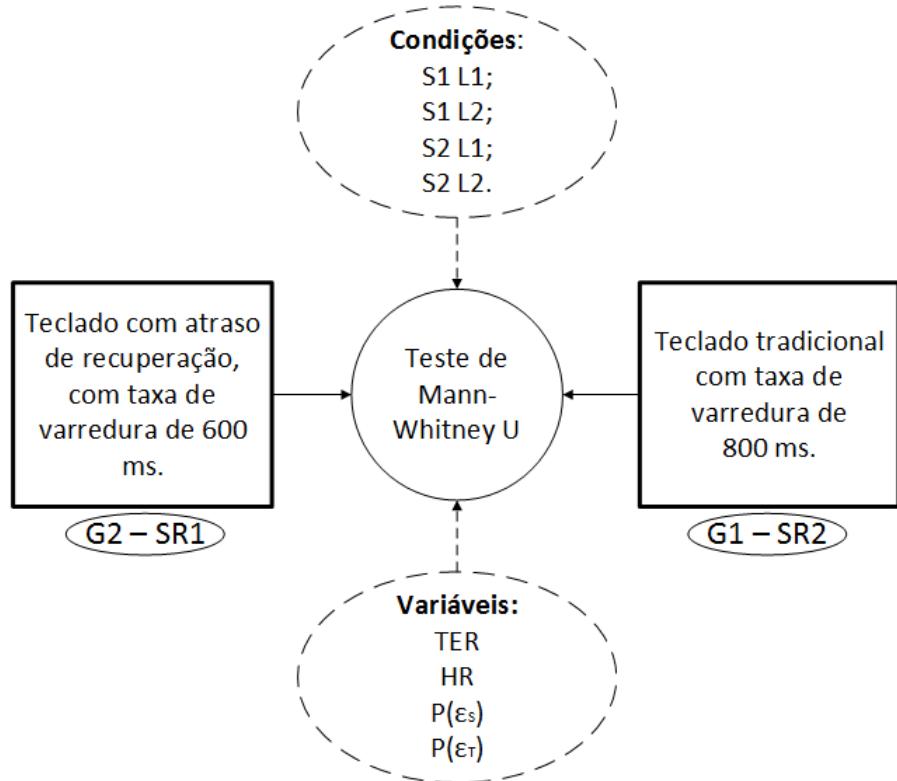


Figura 6.4: Análise 2: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback visual* com o teclado padrão em diferentes velocidades de varredura.

Análise 3

O objetivo desta análise foi de repetir a investigação realizada no capítulo anterior. De forma semelhante a análise estatística descrita na seção 5.2.3 do capítulo 5, foram comparados os arranjos de teclas L1 e L2. Entretanto nessa análise foram considerados apenas os resultados dos participantes do grupo G2. O objetivo desta análise foi a de investigar se, com o teclado operando com o recurso de atraso de recuperação utilizando *feedback visual*, os arranjos de tecla L1 e L2 apresentariam diferenças de TER, HR, $P(\varepsilon_t)$ e $P(\varepsilon_s)$. Os dados de cada grupo foram submetidos a um teste de Wilcoxon Pareado ($\alpha = .05$) para verificar se houve diferença estatística das variáveis observadas, entre os dois grupos.

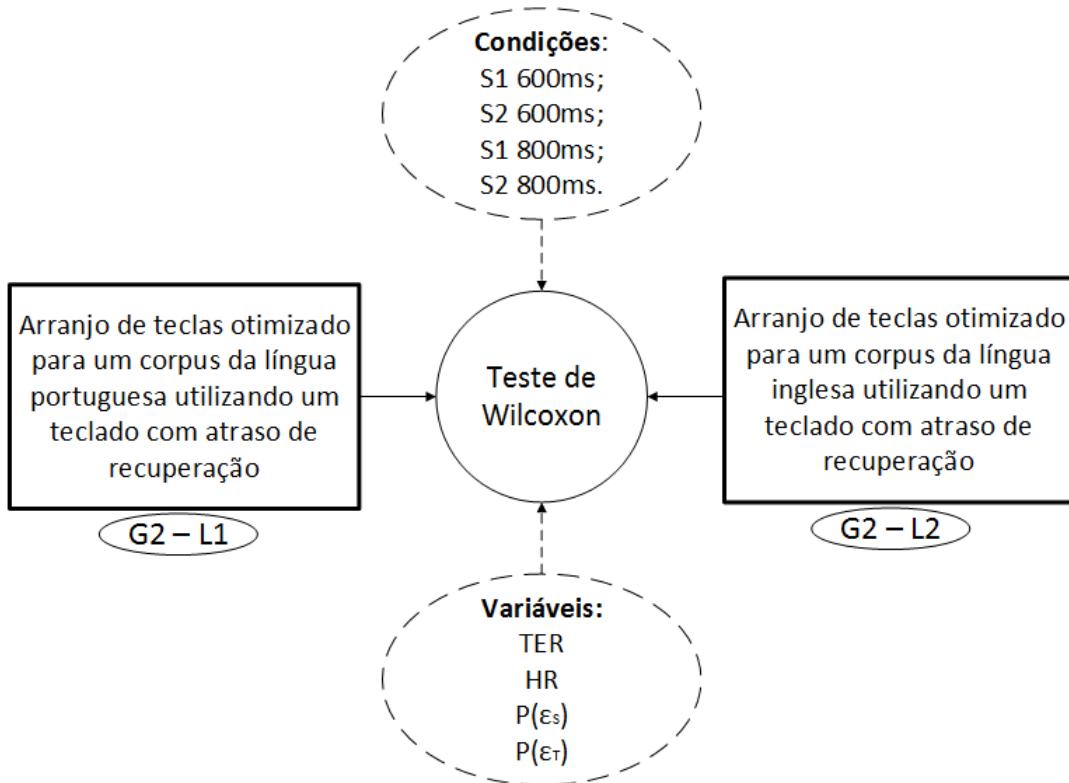


Figura 6.5: Análise 3: Comparação entre os diferentes arranjos de teclas em um teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback visual*

6.3 Resultados

Após a realização dos experimentos, foi realizado o processamento dos dados coletados de forma a obter os valores referente às variáveis dependentes investigadas: taxa de comunicação (TER), taxa de acerto (HR), probabilidade de erro de seleção ($P(\varepsilon_s)$) e probabilidade de erro de sincronia ($P(\varepsilon_t)$).

As tabelas 6.1 e 6.2 apresentam os resultados das sessões, separadas de acordo com os parâmetros da tarefa proposta (taxa de varredura, sentença a ser transcrita e arranjo de teclas).

Tabela 6.1: Resultados da tarefa de transcrição com $T_{SR} = 600$ ms

Condição	TER		HR		$P(\varepsilon_s)$		$P(\varepsilon_t)$	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
S1 L1	15,40	1,88	93,50%	4,75%	1,83%	2,20%	3,42%	4,33%
S1 L2	15,81	1,30	94,93%	3,42%	1,15%	2,02%	3,20%	2,97%
S2 L1	16,38	1,98	92,86%	4,89%	1,82%	1,42%	4,11%	3,28%
S2 L2	16,16	1,83	93,54%	4,65%	1,80%	1,75%	4,64%	4,29%

Tabela 6.2: Resultados da tarefa de transcrição com $T_{SR} = 800$ ms

Condição	TER		HR		$P(\varepsilon_s)$		$P(\varepsilon_t)$	
	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ
S1 L1	12,05	1,09	95,00%	4,36%	0,94%	1,52%	3,70%	3,87%
S1 L2	12,12	1,30	95,08%	5,03%	1,35%	1,47%	1,85%	2,60%
S2 L1	13,19	1,27	95,53%	4,50%	1,02%	1,28%	2,21%	2,25%
S2 L2	12,78	1,02	95,71%	3,70%	1,46%	1,66%	1,73%	3,08%

Dos dados obtidos dos experimentos, foram realizados as seguintes análises estatísticas:

1. Análise 1. Comparação entre os grupos G1 e G2 com mesmo T_{SR} ;
2. Análise 2. Comparação entre o grupo G1 com $T_{SR} = 800$ ms e grupo G2 com $T_{SR} = 600$ ms;
3. Análise 3. Comparação entre os arranjos L1 e L2 no grupo G2.

Análise 1: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação com feedback visual e o teclado padrão a uma mesma velocidade de varredura; G1 e G2 com os mesmos valores de T_{SR}

Para a comparação entre G1 e G2 com $T_{SR} = 600$ ms, pode-se observar na tabela 6.3 que a taxa de comunicação não apresentou diferença estatisticamente significativa em nenhuma das condições da análise. Já as variáveis taxa de acerto, erro de seleção e erro de sincronia apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p < 0.028$,

$p < 0.057$ e $p < 0.013$, respectivamente). O atraso de recuperação com *feedback* visual reduziu os erros de seleção (de 1.64% até 2.50%) e de sincronia (de 4.14% até 9.41%), o que levou ao aumento da taxa de acerto (3.45% até 7.79%).

Para a comparação entre as configurações de G1 e G2 com $T_{SR} = 800$ ms, pode-se observar um diferença estatística significativa na taxa de comunicação (TER), de maneira que a teclado com o atraso de recuperação apresentaram um valor de TER inferior. De qualquer maneira, mesmo com a redução de TER, foi possível observar uma redução na probabilidade de erros de sincronia (de 3.87% até 4.92%), estatisticamente significativa em todas as condições experimentais ($p_{min} = 0.02$).

As tabelas 6.3 e 6.4 apresentam os resultados da análise estatística da comparação entre os grupos G1 e G2, para T_{SR} iguais a 600 e 800ms, respectivamente.

Tabela 6.3: Análise estatística da comparação entre os grupos G1 e G2, com $T_{SR} = 600$ ms

Condição	TER (CPM)		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)
L1 S1	-0,396	0,546	-7,79%	0,000	2,50%	0,001	9,41%	0,000
L1 S2	-0,040	0,900	-7,03%	0,001	2,15%	0,057	8,73%	0,000
L2 S1	0,359	0,860	-6,09%	0,001	2,44%	0,001	7,14%	0,000
L2 S2	1,262	0,124	-3,45%	0,028	1,64%	0,003	4,14%	0,013

Tabela 6.4: Análise estatística da comparação entre os grupos G1 e G2, com $T_{SR} = 800$ ms

Condição	TER (CPM)		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)	G1-G2	(p)
L1 S1	0,976	0,008	-3,36%	0,105	0,92%	0,133	4,92%	0,020
L1 S2	1,227	0,010	-3,60%	0,005	2,22%	0,002	4,01%	0,004
L2 S1	1,261	0,003	-2,44%	0,078	1,76%	0,008	3,87%	0,008
L2 S2	1,471	0,001	-2,00%	0,121	0,82%	0,245	3,99%	0,000

Análise 2: Comparação entre o teclado com atraso de recuperação utilizando feedback visual e o teclado padrão, a diferentes velocidades de varredura (G1 com $T_{SR} = 800\text{ms}$ and G2 com $T_{SR} = 600 \text{ ms}$)

Para a comparação entre G2 com $T_{SR} = 600 \text{ ms}$ e G1 com $T_{SR} = 800 \text{ ms}$, foi observado uma diferença estatística significativa na taxa de comunicação ($p = .000$) de até 2.42 CPM. Em algumas das situações, foi observado uma diferença estatisticamente significativa na probabilidade de erros. O atraso de recuperação reduziu a ocorrência de erros nesses casos (1.95% - $p = 0.042$).

Tabela 6.5: Análise estatística da comparação entre os grupos G1 ($T_{SR} = 800\text{ms}$) e G2 ($T_{SR} = 600\text{ms}$)

Condição	TER (CPM)		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	G2-G1	(p)	G2-G1	(p)	G2-G1	(p)	G2-G1	(p)
L1 S1	2,372	0,000	1,85%	0,657	-0,03%	0,882	-5,21%	0,005
L2 S1	2,420	0,000	2,29%	0,129	-1,96%	0,003	-2,52%	0,169
L1 S2	1,962	0,003	0,94%	0,650	-1,41%	0,042	-2,10%	0,186
L2 S2	1,902	0,001	-0,16%	0,950	-0,48%	0,559	-1,09%	0,391

A figura 6.6 apresenta detalhadamente as variáveis que apresentaram diferença estatisticamente significativa nessa análise.

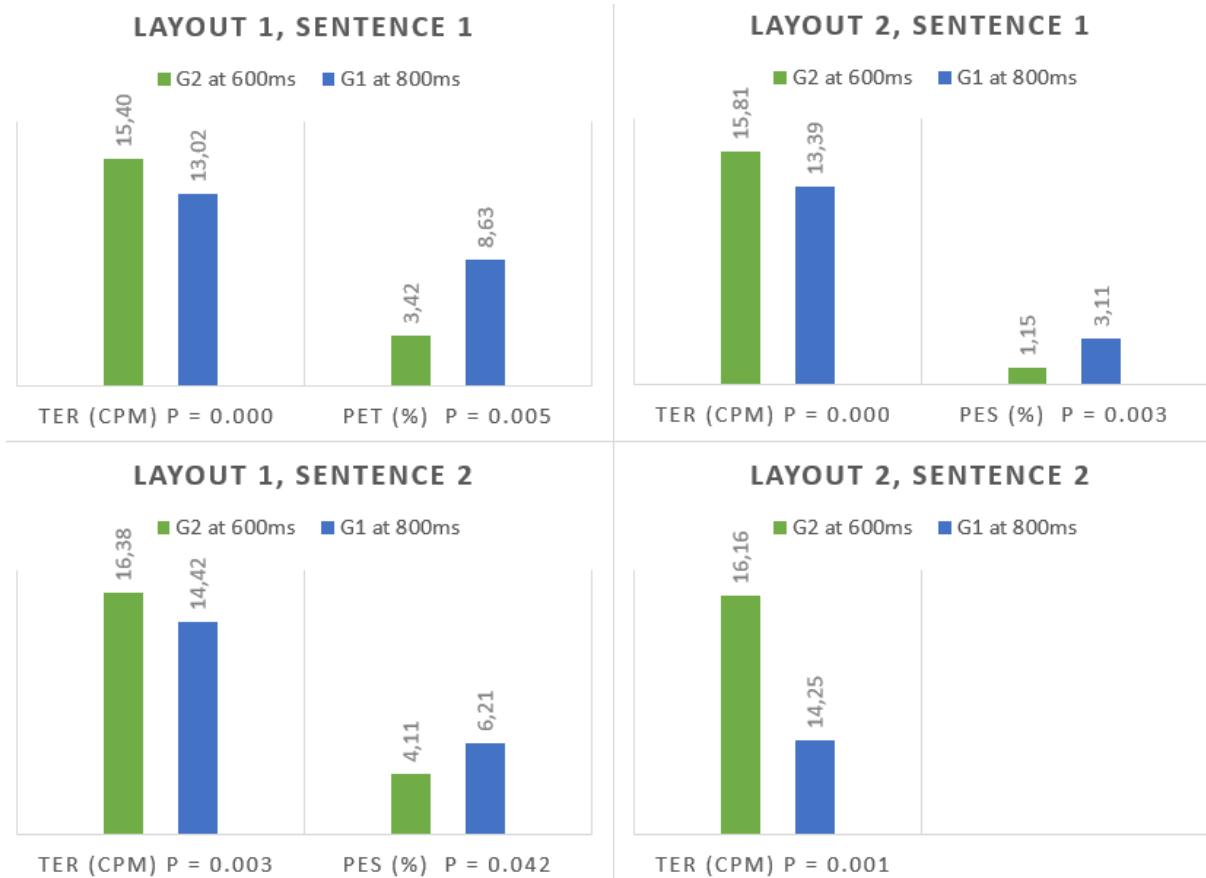


Figura 6.6: Detalhe das variáveis que apresentaram diferença estatisticamente significativa para na análise 2.

Análise 3: Comparação entre os diferentes arranjos de teclas no teclado com atraso de recuperação com feedback visual

As tabelas 6.6 e 6.7 apresentam as comparações entre os arranjos L1 e L2 em um teclado com atraso de recuperação para os valores de T_{SR} iguais a 600 e 800ms, respectivamente. Para a comparação entre os arranjos L1 e L2 para uma $T_{SR} = 600$ ms, pode-se observar que não houve diferença estatística significativa nas variáveis TER, HR, $P(\varepsilon_S)$ e $P(\varepsilon_T)$.

Para a comparação entre os arranjos L1 e L2 para uma $T_{SR} = 800$ ms, pode-se observar que não houve diferença estatística significativa de TER nem de HR. Para a escrita da sentença S1 houve diferença estatisticamente significativa de $P(\varepsilon_T)$ ($p < .018$), com diferença de 1.85% a favor de L2. A sentença S2 apresentou diferença estatisticamente significativa de $P(\varepsilon_S)$ ($p < .064$), com diferença de 0.44% a favor de L1.

Tabela 6.6: Análise estatística da comparação entre os arranjos L1 e L2, utilizando o teclado com teclas adicionais, com $T_{SR} = 600$ ms.

Condição	TER (CPM)		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)
S1	-0,409	0,685	-1,43%	0,274	0,68%	0,209	0,21%	0,868
S2	0,228	0,733	-0,69%	0,467	0,02%	0,550	-0,52%	0,548

Tabela 6.7: Análise estatística da comparação entre os arranjos L1 e L2, utilizando o teclado com teclas adicionais, com $T_{SR} = 800$ ms.

Condição	TER (CPM)		HR		$P(\varepsilon_S)$		$P(\varepsilon_T)$	
	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)	L1-L2	(p)
S1	-0,076	0,833	-0,08%	1,000	-0,41%	0,209	1,85%	0,018
S2	0,412	0,144	-0,18%	0,867	-0,44%	0,064	0,47%	0,170

6.4 Discussão

6.4.1 Resultados experimentais

Análise 1

Na análise 1, dados dos grupos foram comparados a uma mesma taxa de escaneamento. Na $T_{SR} = 600$ ms, nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada entre a TER do teclado padrão e do teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback visual*. No entanto, as variáveis HR, $P(\varepsilon_S)$ e $P(\varepsilon_T)$ apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os teclados. Os resultados indicam que o atraso de recuperação promoveu a redução de erros e consequentemente o aumento da taxa de acerto.

A uma T_{SR} de 800 ms o teclado padrão apresentou uma melhor TER em comparação ao teclado com atraso de recuperação, embora os erros de sincronia tenham sido menores nessa última configuração. Uma possível explicação para os diferentes resultados em 600 e 800 milissegundos pode ser obtida com base no tempo de reação médio de pessoas saudáveis e na escolha de uma velocidade de escaneamento

correspondente.

De acordo com o MHP, a estrutura mental de uma pessoa pode ser representada por um conjunto de processadores, memórias e suas interconexões. Essa estrutura pode ser dividida em três subsistemas: sistemas perceptivo, cognitivo e motor [101]. Os processadores de indivíduos saudáveis são caracterizados por ciclos de tempo de aproximadamente 100 milissegundos (perceptivo [50-200ms], cognitivo [25-170ms] e motor [30-100ms]). Bourhis *et al* definiram o intervalo de ação para indivíduos saudáveis dentro de um intervalo de 100 a 400ms, baseado no modelo MHP [100].

Assumindo um tempo de reação médio de 400 milissegundos, uma taxa de escaneamento correspondente pode ser estabelecido com base na regra ".65". A regra ".65" define que a relação entre o tempo de reação de um usuário e uma taxa de escaneamento apropriada é de aproximadamente 65% [104]. De acordo com isso, o tempo de reação de 400ms exigiria uma taxa de escaneamento de 615ms ($400/.65 = 615$). Considerando a taxa de comunicação a diferentes T_{SR} , pode-se observar que a maior TER não é necessariamente obtida pelo menor valor de T_{SR} . Isso pode ser justificado pelo fato de que a TER é uma função que relaciona o tempo de cada passo de varredura e a penalidade gerada pela ocorrência de erros (T_{SR} mais rápidas são mais prováveis de levarem um usuário a cometer um erro).

De acordo com essa análise, a seguinte declaração é hipotetizada: A 600ms, o tempo de penalidade gerada pela correção de erros foi reduzida a ponto de compensar o tempo adicional produzido pelo atraso de recuperação. Entretanto, um efeito diferente foi observado a 800ms: o tempo adicional gerado pelo atraso de recuperação não foi compensado pela redução do tempo de penalidade, independente da redução de erros observada. Baseado nessas diferenças é possível inferir que existe um ponto de mudança no intervalo de T_{SR} em que o atraso de recuperação promove o aumento da TER.

Análise 2

Na análise 2, os dados dos grupos foram comparados a diferentes taxas de escaneamento: teclado padrão a 800ms (G1) e o teclado com atraso de recuperação a 600ms. G1 e G2 apresentaram diferença estatisticamente significativa na taxa de comunicação, na qual a TER de G2 foi maior do que a de G1 nas quatro condições

analisadas. No entanto, G1 e G2 apresentaram um resultado de erros inesperado: mesmo com uma T_{SR} menor, G1 apresentou redução significativa de erros de sincronia (condição L1S1) e de seleção (condições L2S1 e L1S2).

Erros de sincronia e de seleção não apresentaram diferença significativa nas outras condições. Em resumo, o atraso de recuperação promoveu o aumento da TER e, quando não reduziu a ocorrência de erros, não causou efeito sobre eles.

Análise 3

De forma semelhante ao estudo descrito no capítulo anterior, os arranjos de tecla não apresentaram diferenças de TER e de HR, nas tarefas realizadas com um teclado com atraso de recuperação utilizando *feedback* visual.

6.4.2 Análise temporal do comportamento do usuário

Baseado na análise temporal do comportamento do usuário durante a seleção de duas teclas (e_i and e_j), realizada por Bhattacharya *et al.*, foi realizada uma adaptação dessa para o teclado virtual com varredura bidimensional (coluna-linha), no qual o escaneamento após as seleções eram retomadas da posição inicial da matriz. A análise adaptada é apresentada na figura 6.7.

Selecionar um elemento e_j após a seleção de e_i , requer do usuário as seguintes ações: (1) esperar o escaneamento alcançar o elemento e_j ; (2) quando e_j estiver realçado, o usuário realiza o acionamento do dispositivo de entrada para efetuar a seleção de e_j . Os momentos em que e_i é selecionado e e_j é realçado são denominados por τ_o e τ_{focus} , respectivamente. A duração de tempo em que o usuário espera o escaneamento alcançar e_j é chamado de t_{wait} .

O usuário inicia a preparação para a ativação do dispositivo de entrada no instante τ_{prep_s} , que por sua vez acontece durante o período t_{wait} . A preparação para ativação do dispositivo de entrada é finalizada no instante τ_{prep_e} , e tem uma duração de tempo t_{prep} . Assim que a preparação é encerrada, é inicializada o passo de ativação do dispositivo de entrada. O instante onde a ativação do dispositivo de entrada é completada, portanto e_j é selecionado, é denominado de τ_{act} .

A duração dessa ação (t_{act}) pode ser associado a um grupo de sub-tarefas, de

acordo com a interação hipotetizada por Keates *et al*, descritas da seguinte maneira: (1) percepção do alvo (e_i em destaque); (2) decisão de ativar o dispositivo de entrada; (3) ativa o dispositivo de entrada; (4) decisão de desativar o dispositivo de entrada; (5) desativa o dispositivo de entrada [27].

Depois da ativação, o usuário tem um instante de descanso antes de se preparar para a próxima seleção. Isso ocorre porque existe um esforço físico e mental significativo envolvido na tarefa de seleção [25]. A duração do tempo para descanso, denominado por t_{relax} , corresponde ao intervalo entre τ_0 e τ_{prep_i} . O período de tempo entre a varredura de dois elementos consecutivos é denominado por (T). A duração de tempo que o usuário tem para evitar um erro de sincronia ao selecionar o alvo e_j é denominado por T_{avail} e é a soma de t_{wait} e T . Em outras palavras a condição descrita na equação 6.1 deve ser satisfeita para evitar a ocorrência de erros de sincronia.

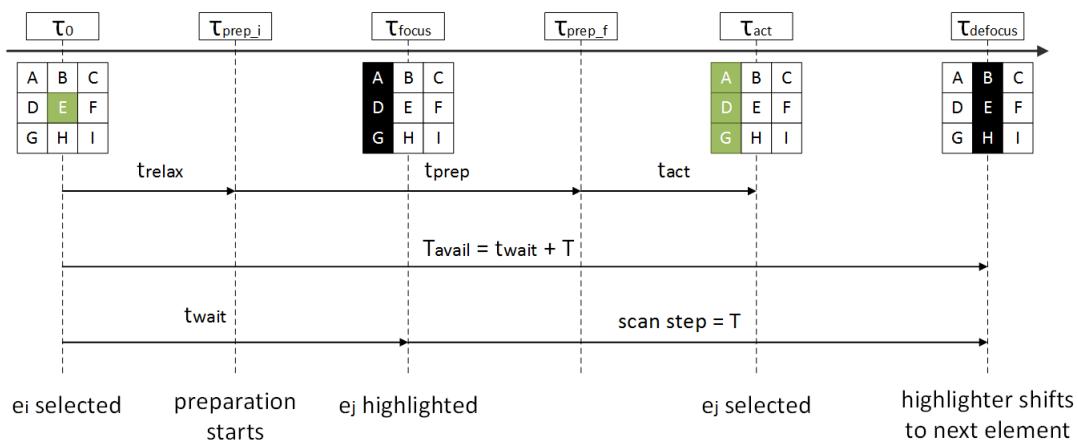


Figura 6.7: Análise temporal do comportamento do usuário entre a seleção dos elementos e_i e e_j . Adaptado de [25].

$$t_{relax} + t_{prep} + t_{act} < T_{avail} \quad (6.1)$$

Considerando a configuração proposta, observa-se que o atraso de recuperação com *feedback visual*, embora tenha gerado um passo de varredura adicional por ciclo de escaneamento, possibilitou a redução da probabilidade de erros (especialmente os erros de sincronia). O passo de varredura adicional aumentou o valor de T_{avail} . De acordo com as observações feitas, é proposto que o aumento dessa variável possibilitou uma recuperação apropriada entre as seleções de elementos do teclado. Essa recuperação possui efeito considerável quando e_j está localizado no início da matriz.

Comparando com os achados de Mankowski *et al* (2013) a respeito do atraso de recuperação, o *feedback* visual parece fornecer um noção temporal apropriada ao usuário, de tal maneira que a ativação do dispositivo de entrada é executada com maiores chances de sucesso [17]. A figura 6.8 apresenta uma análise temporal do comportamento do usuário durante a seleção das teclas e_i e e_j , utilizando um teclado com atraso de recuperação com *feedback* visual. É assumido que o tempo para preparação (t_{prep}) é o mesmo para as duas configurações. A diferença observada é que a configuração com atraso de recuperação, permite que o intervalo de preparação aconteça em um momento anterior. Também assume-se que o tempo para ação (t_{act}) é o mesmo nas duas configurações, uma vez que o tempo necessário para executar uma ação é baseado apenas no tempo de reação do usuário.

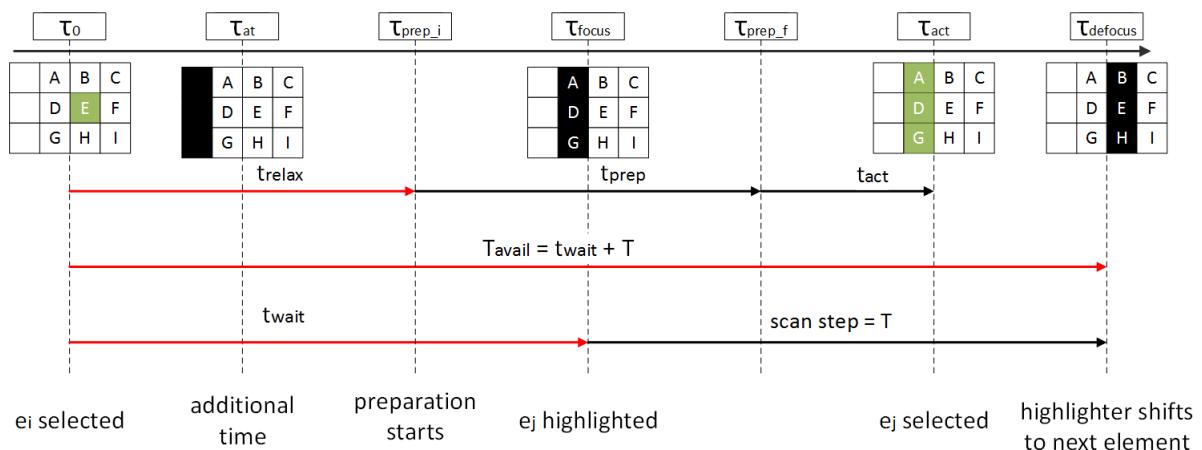


Figura 6.8: Análise temporal do comportamento do usuário entre a seleção dos elementos e_i e e_j em um teclado com atraso de recuperação com *feedback* visual.

6.4.3 Considerações gerais

Um dos achados de Bhattacharya *et al* é de que os erros podem ser explicados devido ao problema de se realizar uma transição apropriada, conforme ilustrado pelo modelo de transição de estados durante a interação entre usuário e teclado [25]. A diferença entre o sistema deles e o que é explorado neste trabalho é que após a seleção de uma tecla o primeiro sistema tem o escaneamento retomado a partir da posição dessa mesma tecla enquanto que o outro sistema reinicia o escaneamento na posição inicial da matriz.

O ensaio experimental mostrou que o atraso de recuperação no início da matriz de varredura reduziu a probabilidade de ocorrência de erros (seleção ou sincronia). O recurso permitiu um passo de varredura adicional, que por sua vez aumentou o tempo de tolerância para a seleção de uma tecla. Embora o passo adicional aumente o tempo de seleção de uma tecla a cada ciclo de escaneamento, ele diminui a probabilidade de se perder uma tecla ou de selecionar uma tecla incorreta, especialmente no início da matriz. Após um certo período de uso do sistema, a redução de erros compensa o tempo adicional gerado pelo escaneamento das teclas vazias, resultando em uma taxa de comunicação mais eficiente. Uma vantagem obtida com isso é que os usuários irão realizar menos ativações do dispositivo de entrada, reduzindo o esforço para controle da interface.

Uma observação importante a ser ressaltada é de que essa técnica não se limita apenas a sistemas com MRL baseado no alfabeto: Ela pode ser aplicada para sistemas com diferentes MRL (fotos, símbolos gráficos), uma vez que o erro de sincronia é inerente do paradigma de escaneamento e não do tipo de MRL.

Parte V

Conclusões

Capítulo 7

Conclusão

O trabalho apresentou o resultado de dois estudos, baseados em tarefas de transcrição utilizando sistemas de comunicação aumentativa e alternativa com método de acesso de escaneamento. Nesse trabalho, dados de 42 participantes saudáveis foram coletados. O primeiro estudo apresentou a construção de um arranjo de teclas otimizado para um corpus da língua portuguesa e análises computacionais e práticas desse arranjo com outros existentes. As premissas estabelecidas pelo modelo computacional para a construção e análise de arranjos de teclas, apresentou divergência dos resultados verificados no experimento com participantes nesse estudo. Além da frequência de ocorrência dos caracteres considerada pela métrica SPC, a incidência de erros é um parâmetro importante a ser ponderado na construção de um arranjo de teclas otimizado.

A metodologia adotada, que por sua vez considera apenas o SPC, não possibilitou uma melhoria da taxa de comunicação. Não houve diferença estatisticamente significativa da TER entre os arranjos L1 e L2 durante as tarefas de transcrição de textos. Todavia a pouca experiência dos participantes com o sistema de escaneamento pode ter permitido com que uma considerável incidência de erros tenha prejudicando a investigação do desempenho entre os arranjos de teclas. Conforme os indicativos dos estudos de Koester *et al* (1994), um período de treinamento maior pode levar à melhoria do desempenho dos usuários de sistemas de CAA [96]. Uma primeira proposta de investigação a ser realizada seria a comparação do desempenho dos arranjos L1 e L2 para usuários com um maior nível de experiência, de forma a reduzir o impacto de erros causados pela dificuldade em se localizar as teclas dos arranjos.

O segundo estudo apresentou uma proposta de atraso de recuperação utilizando *feedback* visual, obtido por teclas vazias localizadas no início da matriz de escaneamento. A análise dos dados do experimento, realizado nesse estudo, mostraram que os erros de sincronia e de seleção foram menores para o grupo que utilizou o recurso proposto (G2). De acordo com o modelo de comportamento de usuários, o estágio perceptivo é uma etapa importante na tarefa de seleção de um elemento. O atraso de recuperação possibilitou o aumento de T_{avail} para a seleção da próxima tecla alvo. Dessa forma, a probabilidade de erro do usuário foi reduzida.

Uma segunda proposta de investigação a ser realizada seria a execução do protocolo experimental com um terceiro grupo (G3), utilizando um teclado com atraso de recuperação sem *feedback* visual. Com os dados de G3, seriam efetuadas as comparações de TER, HR, $P(\varepsilon_s)$ e $P(\varepsilon_t)$ entre G1 (teclado padrão), G2 (teclado com atraso de recuperação com *feedback* visual) e G3 (teclado com atraso de recuperação sem *feedback* visual). A partir dessa análise seria possível investigar a observação feita por Mankowski *et al* (2013) de que o atraso de recuperação sem *feedback* visual poderia aumentar a ocorrência de erros devido a seleção precoce dos itens da interface [17].

Embora os estudos tenham sido realizados com participantes saudáveis, a explicação de que os erros de sincronia são causados por transições inapropriadas de estados durante a interação entre usuário e teclado pode ser ajustada ao se considerar usuários com DMS. Dados de indivíduos com esse perfil seriam úteis para refinar e validar as estratégias propostas neste trabalho. Para isso seria necessário: (1) localizar pacientes com DMS; (2) avaliar sensores adequados que possibilitassem o usuário a controlar a plataforma de experimentos; (3) realizar treinamentos para que eles se acostumassem com o funcionamento do sistema e; (4) realizar novos experimentos.

O abandono de tecnologias de CAA tem sido explorado por diversos autores, especialmente do ponto de vista de profissionais que trabalham com CAA [63]. Em uma pesquisa com 89 pessoas que utilizavam AAC, McCall *et al* (1997) descobriram que a redução de ativações (*keystrokes*) é considerada uma das principais vantagens para esses usuários. A falha de dispositivos foi apontada como uma das principais desvantagens [115]. A redução de erros pode proporcionar uma experiência mais estável durante a comunicação.

Dentre as contribuições deste trabalho, destaca-se a possibilidade de se empregar

as estratégias de redução de erros obtidas pelo atraso de recuperação com *feedback* visual com o intuito de diminuir a frustração de usuários com os erros cometidos durante a comunicação. Acredita-se que esse tipo de ação pode contribuir para incentivar o uso de dispositivos de CAA e auxiliar na redução do abandono deste tipo de tecnologia.

Referências Bibliográficas

- [1] A. M. Cook and J. M. Polgar, *Assistive Technologies: Principles and Practice*. St. Louis, Missouiri: Elsevier, 4th ed., 2015.
- [2] D. R. Beukelman and K. L. Garrett, “Augmentative and alternative communication for adults with acquired severe communication disorders,” *Augmentative & Alternative Communication*, vol. 4, no. 2, pp. 104–121, 1988.
- [3] J. Hourcade, T. Everhart Pilotte, E. West, and P. Parete, “A History of Augmentative and Alternative Communication for Individuals with Severe and Profound Disabilities,” *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, vol. 19, no. 4, pp. 235–244, 2004.
- [4] S. Blackstone, M. Williams, and D. Wilkins, “Key principles underlying research and practice in AAC.,” *Augmentative and alternative communication*, vol. 23, no. September, pp. 191–203, 2007.
- [5] D. R. Beukelman and P. Mirenda, *Augmentative and alternative communication: Supporting children and adults with complex communication needs*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes Publishing Compan, 3rd ed., 2005.
- [6] D. R. Beukelman and P. Mirenda, *Augmentative and alternative communication: Supporting children and adults with complex communication needs*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes, 4th ed., 2013.
- [7] D. R. Beukelman and P. Mirenda, “Augmentative and alternative communication: management of severe communication disorders in children and adults.,” *Journal of Intellectual Disability Research*, vol. 17, pp. 133–136, 2004.

- [8] K. Hill, "Advances in Augmentative and Alternative Communication as Quality-of-Life Technology," *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, vol. 21, no. 1, pp. 43–58, 2010.
- [9] J. Reichle, "Communication Intervention with Persons Who Have Severe Disabilities," *The Journal of Special Education*, vol. 31, no. 1, pp. 110–134, 1997.
- [10] D. Deliberato and E. J. Manzini, "Identification of the communicative abilities of Brazilian children with cerebral palsy in the family context," *Communication Disorders Quarterly*, vol. 33, no. 4, pp. 195–201, 2012.
- [11] J. Light, "Do AAC interventions really make a difference?: The challenges of efficacy research," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 15, no. March, pp. 13–24, 1999.
- [12] J. Angelo, "Computer Scanning Modes as an Interface Method for Persons With Cerebral Palsy," *The American Journal of Occupational Therapy*, vol. 46, no. March, pp. 217–222, 1987.
- [13] G. C. Vanderheiden and L. L. Lloyd, "Communication systems and their components," in *Augmentative Communication: An introduction* (S. Blackstone, ed.), 1986.
- [14] J. R. Gunderson, "Interfacing the motor-impaired for control and communication," in *Electronic devices for rehabilitation* (J. G. Webster, A. M. Cook, W. J. Tompkins, and G. C. Vanderheiden, eds.), p. 94, New York, USA: Wiley, 1985.
- [15] I. Fishman, *Electric communication aids*. Boston: College-Hill, 1987.
- [16] B. Roark, R. Beckley, C. Gibbons, and M. Fried-Okne, "Huffman scanning: Using language models within fixed-grid keyboard emulation," *Computer Speech and Language*, vol. 27, no. 6, pp. 1212–1234, 2013.
- [17] R. Mankowski, R. C. Simpson, and H. H. Koester, "Validating a model of row–column scanning," *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 321–329, 2013.

- [18] J. Abascal, L. Gardeazabal, and N. Garay-Vitoria, "Optimisation of the Selection Set Features for Scanning Text Input," in *ICCHP 2004 - Computers Helping People with Special Needs - 9th International Conference*, pp. 788–795, Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [19] J. Treviranus and R. Tannock, "A scanning computer access system for children with severe physical disabilities.", *The American Journal of Occupational Therapy*, vol. 41, no. 11, pp. 733–738, 1987.
- [20] R. I. Damper, "Text composition by the physically disabled : A rate prediction model for scanning input," *Applied Ergonomics*, no. December, pp. 289–296, 1984.
- [21] R. A. Foulds, *A communicative assist for the non-verbal severely handicapped*. Ms thesis, Tufts University, 1972.
- [22] H. Venkatagiri, "Efficient keyboard layouts for sequential access in augmentative and alternative communication," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 15, no. 2, pp. 126–134, 1999.
- [23] G. Lesher, B. Moulton, and D. J. Higginbotham, "Techniques for augmenting scanning communication," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 14, no. June, pp. 81–101, 1998.
- [24] I. S. MacKenzie, "Modeling Text Input for Single-Switch Scanning," in *Computers Helping People with Special Needs, Pt II*, vol. 7383, pp. 423–430, 2012.
- [25] S. Bhattacharya, D. Samanta, and A. Basu, "User errors on scanning keyboards: Empirical study, model and design principles," *Interacting with Computers*, vol. 20, pp. 406–418, may 2008.
- [26] S. Bhattacharya, A. Basu, and D. Samanta, "Computational Modeling of User Errors for the Design of Virtual Scanning Keyboards," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 16, no. 4, pp. 400–409, 2008.
- [27] S. Keates, J. Clarkson, and P. Robinson, "Investigating the applicability of user models for motion-impaired users," *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies - Assets '00*, pp. 129–136, 2000.

- [28] R. C. Simpson, H. H. Koester, and E. LoPresti, “Rearch in Computer Access Assessment and Intervention,” *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, vol. 21, no. 1, pp. 15–32, 2011.
- [29] IBGE, “Censo Demográfico 2010: Características gerais da população , religião e pessoas com deficiência,” tech. rep., 2010.
- [30] J. R. Patterson and M. Grabois, “Locked-in syndrome: a review of 139 cases.,” *Stroke; a journal of cerebral circulation*, vol. 17, pp. 758–764.
- [31] ASHA, “Augmentative and alternative communication,” tech. rep., American Speech-Language-Hearing Association, 1991.
- [32] P. Mirenda, “Augmentative and Alternative Communication,” in *Handbook of Autism and Pervasive Developmental Disorders*, ch. 32, pp. 813–822, 2014.
- [33] D. Mcnaughton and J. Light, “What We Write about When We Write About AAC : The Past 30 Years of Research and Future Directions,” *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 4618, no. February, pp. 261–270, 2016.
- [34] J. Light and D. McNaughton, “Communicative Competence for Individuals who require Augmentative and Alternative Communication: A New Definition for a New Era of Communication?,” *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 30, no. January, pp. 1–18, 2014.
- [35] T. J and H. C, “Language activity monitoring on a young child using a VOCA,” in *Proceedings of the 9th Biennial Conference of the International Society for Augmentative and Alternative Communication*, (Washington, DC), pp. 310–313, ISAAC, 2000.
- [36] H. K and J. D, “AAC outcomes in persons with ALS/MND,” in *Proceedings of the 11th Biennial ISAAC Conference*, (Toronto, Canada), 2004.
- [37] B. A and P. M, “The role of augmentative communication devices in the medical management of ALS,” *Neuro Rehabilitation*, vol. 22, no. 6, pp. 445–450, 2007.
- [38] H. J and E. M, *LAMP: language acquisition through motor planning*. Wooster (OH): Prentke Romich Company, 2006.

- [39] D. McNaughton and D. N. Bryen, "AAC technologies to enhance participation and access to meaningful societal roles for adolescents and adults with developmental disabilities who require AAC.", *Augmentative and alternative communication* (Baltimore, Md. : 1985), vol. 23, no. 3, pp. 217–229, 2007.
- [40] D. R. Beukelman, S. Fager, L. Ball, and A. Dietz, "AAC for adults with acquired neurological conditions: a review.", *Augmentative and alternative communication* (Baltimore, Md. : 1985), vol. 23, no. 3, pp. 230–242, 2007.
- [41] R. K. Johnson, M. S. Hough, K. A. King, P. Vos, and T. Jeffs, "Functional communication in individuals with chronic severe aphasia using augmentative communication.", *Augmentative and alternative communication* (Baltimore, Md. : 1985), vol. 24, no. December, pp. 269–280, 2008.
- [42] Y. Saito and a. Turnbull, "Augmentative and alternative communication practice in the pursuit of family quality of life: a review of the literature (Structured abstract)," *Research and Practice for Persons with Severe Disabilities*, vol. 32, no. 1, pp. 50–65, 2007.
- [43] A. Dietz, K. Weissling, J. Griffith, M. McKelvey, and D. Macke, "The Impact of Interface Design During an Initial High-Technology AAC Experience: A Collective Case Study of People with Aphasia," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 30, no. July, pp. 314–328, 2014.
- [44] D. R. Beukelman, K. Hux, A. Dietz, M. McKelvey, and K. Weissling, "Using Visual Scene Displays as Communication Support Options for People with Chronic, Severe Aphasia: A Summary of AAC Research and Future Research Directions," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 31, no. 3, pp. 234–245, 2015.
- [45] S. Balandin, B. Hemsley, J. Sigafoos, and V. Green, "Communicating with nurses: The experiences of 10 adults with cerebral palsy and complex communication needs," *Applied Nursing Research*, vol. 20, no. 2, pp. 56–62, 2007.
- [46] E. H. Finke, J. Light, and L. Kitko, "A systematic review of the effectiveness of nurse communication with patients with complex communication needs with a focus on the use of augmentative and alternative communication," *Journal of Clinical Nursing*, vol. 17, no. 16, pp. 2102–2115, 2008.

- [47] B. Hemsley and S. Balandin, "A Metasynthesis of Patient-Provider Communication in Hospital for Patients with Severe Communication Disabilities," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 142, no. 4, pp. 329–343, 2014.
- [48] S. Blackstone, D. Bekelman, and K. Yorkston, "Building bridges to effective patient-provider communication," in *Patient-provider communication: Roles of speech-language pathologists and other health care providers*, pp. 1–8, San Diego, CA: Plural Publishing Inc, 2015.
- [49] G. Bartlett, R. Blais, R. Tamblyn, R. J. Clermont, and B. MacGibbon, "Impact of patient communication problems on the risk of preventable adverse events in acute care settings," *Canadian Medical Association Journal*, vol. 178, no. 12, pp. 1555–1562, 2008.
- [50] S. Fager, J. LeDoux, and D. R. Beukelman, "Evaluating preferred augmentative and alternative communication strategies for patients in long-term health care hospitals.,," *SIG12 Perspectives on Augmentative and Alternative Communication*, vol. 23, no. April, pp. 99–103, 2014.
- [51] K. Hill and S. M., "Matching persons and technology: data-driven AAC assessments," in *Proceedings of the 23rd Annual INternational Conference on Technology and PErsons with Disabilities*, (Los Angeles, CA), 2008.
- [52] World Health Organization, "Towards a Common Language for Functioning , Disability and Health ICF," 2002.
- [53] S. MJ and C. G, "Matching person and technology assessment process," *Technology and Disability*, vol. 14, no. 3, pp. 125–131, 2002.
- [54] H. MD and K. Hill, "AAC and the rights and dignity of persons with disabilities.," in *RESNA Annual Conference*, (Phoenix, AZ), pp. 15–19, 2007.
- [55] B. Romich, G. Vanderheiden, and K. Hill, "Augmentative and alternative communication," in *The Biomedical Engineering Handbook* (J. D. Bronzino, ed.), Boca Raton, FL: CRC Press, 3rd ed., 2005.

- [56] B. B. H. K, and D. R, "Core vocabulary is the same across environments," in *Proceedings for Technology and Persons with Disabilities Conference (CSUN)*, (Northridge, CA), 2000.
- [57] K. J. Hill, *The development of a model for automated performance measurement and the establishment of performance indices for augmented communicators under two sampling conditions*. PhD thesis, University of Pittsburgh, 2001.
- [58] G. C. Vanderheiden, "Providing the child with a means to indicate," in *Non-vocal Communication Techniques and Aids for the Severely Physically Handicapped*, pp. 1–42, 1976.
- [59] C. G. Pinheiro, E. L. M. Naves, P. Pino, E. Lossan, A. O. Andrade, and G. Bourhis, "Alternative communication systems for people with severe motor disabilities: a survey.," *Biomedical engineering online*, vol. 10, p. 28, jan 2011.
- [60] K. Tai, S. Blain, and T. Chau, "A review of emerging access technologies for individuals with severe motor impairments.," *Assistive Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 204–219; quiz 220–221, 2008.
- [61] H. Venkatagiri and T. Ramabadran, "Digital speech synthesis: Tutorial," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 11, no. 1, pp. 14–25, 1995.
- [62] T. Mills, H. T. Bunnell, and R. Patel, "Towards Personalized Speech Synthesis for Augmentative and Alternative Communication.," *Augmentative and alternative communication (Baltimore, Md. : 1985)*, vol. 30, no. February, pp. 1–11, 2014.
- [63] J. M. Johnson, E. Inglebret, C. Jones, and J. Ray, "Perspectives of speech language pathologists regarding success versus abandonment of AAC.," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 22, no. 2, pp. 85–99, 2006.
- [64] Mayer-Johnson, "Boardmaker product," 2016.
- [65] Assistiva, "Prancha com símbolos PCS," 2016.
- [66] A. Knebe, "Attainment Company's - Go Talk 20+ - User's Guide," 2014.
- [67] I. NanoPac, "WiVik - a software alternative keyboard," 2016.

- [68] S. Bhattacharya, D. Samanta, and A. Basu, "Performance Models for Automatic Evaluation of Virtual Scanning Keyboards," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 16, no. 5, pp. 510–519, 2008.
- [69] V. Prabhu and G. Prasad, "Designing a virtual keyboard with multi-modal access for people with disabilities," in *Proceedings of the 2011 World Congress on Information and Communication Technologies, WICT 2011*, pp. 1133–1138, 2011.
- [70] C. Topal, B. Benligiray, and C. Akinlar, "On the efficiency issues of virtual keyboard design," *Proceedings of IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems, VECIMS*, no. 111, pp. 38–42, 2012.
- [71] C. E. Shanon, "Prediction and entropy of printed English," *Bell Systems Technical Journal*, pp. 50–64, 1951.
- [72] G. W. Lesher, B. J. Moulton, and D. J. Higginbotham, "Optimal character arrangements for ambiguous keyboards," in *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 6, pp. 415–423, ieee, 1998.
- [73] R. E. Glaser, "A telephone communication aid for the deaf," in *Proceedings of the Johns Hopkins First National Search for Applications of Personal Computers to Aid the Handicapped*, (Piscataway, NJ), pp. 11–15, IEEE Service Center, 1981.
- [74] A. B. Johnson and R. F. Hagstad, "DTMF telecommunications for the deaf and speech impaired," in *Proceedings of the Johns Hopkins First National Search for Applications of Personal Computers to Aid the Handicapped*, (Piscataway, NJ), pp. 29–32, IEEE Service Center, 1981.
- [75] I. S. Mackenzie and T. Felzer, "SAK: Scanning Ambiguous Keyboard for Efficient One-Key Text Entry," *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 17, pp. 1–39, jul 2010.
- [76] B. Roark, J. D. Villiers, C. Gibbons, and M. Fried-oken, "Scanning methods and language modeling for binary switch typing," *Proceedings of the NAACL HLT 2010 Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, no. June, pp. 28–36, 2010.

- [77] B. Roark, M. Fried-Oken, and C. Gibbons, "Huffman and Linear Scanning Methods with Statistical Language Models," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 31, no. November 2015, pp. 37–50, 2015.
- [78] D. Huffman, "A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes," *Proceedings of the IRE*, vol. 40, 1952.
- [79] R. Mankowski, *Predicting communication rates: Efficacy of a scanning model*. Masters, University of Pittsburgh, 2009.
- [80] S. Ghedira, P. Pino, and G. Bourhis, "Conception and Experimentation of a Communication Device with Adaptive Scanning," *ACM Transactions on Accessible Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 1–23, 2009.
- [81] R. C. Simpson, *Computer Access for People with Disabilities: A Human Factors Approach*, vol. 53. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2013.
- [82] H. H. Koester and S. P. Levine, "Effect of a Word Prediction Feature on User Performance," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 12, no. 3, pp. 155–168, 1996.
- [83] D. J. Higginbotham, G. W. Lesher, B. J. Moulton, and B. Roark, "The Application of Natural Language Processing to Augmentative and Alternative Communication," *Assistive Technology*, vol. 24, no. January 2014, pp. 14–24, 2012.
- [84] S. Hunnicutt and J. Carlberger, "Improving Word Prediction Using Markov Models and Heuristic Methods," *Augmentative and Alternative Communication*, vol. 17, no. December, pp. 255–264, 2001.
- [85] G. Baletsas, R. Foulds, and W. Crochetiere, "Design parameters of an intelligent communication device," in *29th Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology*, (Chevy Chase, MD), p. 371, Alliance for Engineering in Medicine and Biology, 1976.
- [86] O. Poláček, Z. Míkovec, and P. Slavík, "Predictive scanning keyboard operated by hissing," in *Proceedings of the IASTED International Conference Assistive Technologies (AT 2012)*, 2012.

- [87] R. Simpson, R. Mankowski, and H. H. Koester, "Modeling one-switch row-column scanning with errors and error correction methods," *The Open Rehabilitation Journal*, vol. 4, pp. 1–12, 2011.
- [88] H. H. Koester and R. C. Simpson, "Method for enhancing text entry rate with single-switch scanning," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 51, no. 6, pp. 995–1012, 2014.
- [89] M. J. Rosen and C. Goodenough-Trepagnier, "Factors affecting communication rate in non-vocal communication systems.,," in *Proc 4th Annual Conference on Rehabilitation Engineenng*, (Washington, DC), pp. 194–196, 1981.
- [90] H. Kucera and W. N. Francis, *Computational analysis of present-day American English*. Brown University Press, 1967.
- [91] L. Fernando and B. Loja, *Tecnologia Assistiva: Um teclado virtual evolutivo para aplicação em sistemas de comunicação alternativa e aumentativa*. PhD thesis, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- [92] J. O. Wobbrock, "Measures of Text Entry Performance," in *Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality* (I. S. Mackenzie and K. Tanaka-Ishii, eds.), ch. 3, Morgan Kaufmann, 1st ed., 2007.
- [93] L. A. d. A. da Rocha, *Interface Multimodal Aplicada À Comunicaçao Alternativa para Pessoas com Deficiências Motoras Graves*. PhD thesis, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- [94] J. J. Darragh and I. H. Witten, "Adaptive predictive text generation and the reactive keyboard," *Interacting with Computers*, vol. 3, no. 1, pp. 27–50, 1991.
- [95] H. H. Koester and S. P. Levine, "Modeling the speed of text entry with a word prediction interface," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 177–187, 1994.
- [96] H. H. Koester and S. P. Levine, "Learning and Performance of able-bodied individuals using scanning systems with and without Word Prediction," *Assistive Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 42–53, 1994.

- [97] H. H. Koester and S. P. Levine, "Model Simulations of User Performance with Word Prediction," *Augmentative and Alternative Communication*, pp. 25–35, 1998.
- [98] N. Garay-Vitoria and J. Abascal, "Text prediction systems: A survey," *Universal Access in the Information Society*, vol. 4, pp. 188–203, dec 2006.
- [99] E. Brangier and P. Pino, "Psychodesign of interaction: Communication system design for patient suffering amyotrophic lateral sclerosis," *International Journal of design sciences and technology*, vol. 8, no. 2, pp. 33–52, 2001.
- [100] G. Bourhis, P. Pino, and A. Leal-Olmedo, "Communication devices for persons with motor disabilities: human-machine interaction modeling," in *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, (Yasmine Hammamet, Tunisia), 2002.
- [101] S. K. Card, T. P. Moran, and a. Newell, "The model human processor: an engineering model for human performance," 1986.
- [102] E. L. M. Naves, L. Rocha, and P. Pino, "Alternative communication system for people with severe motor disabilities using myoelectric signal control," *2012 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living, BRC 2012*, pp. 2–5, 2012.
- [103] D. T. G. Mariano, A. M. D. Freitas, L. M. D. Luiz, P. Pino, and E. L. M. Naves, "An accelerometer-based human computer interface driving an alternative communication system," in *2014 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC)*, (Salvador, BA, Brasil), pp. 1–5, IEEE, 2014.
- [104] R. Simpson, H. H. Koester, and E. LoPresti, "Selecting an appropriate scan rate: the ".65 rule".," *Assistive Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 51–58; quiz 59–60, 2007.
- [105] L. E. Smith, D. J. Higginbotham, G. W. Lesher, B. J. Moulton, and P. Mathy, "The development of an automated method for analyzing communication rate in augmentative and alternative communication.", *Assistive Technology*, vol. 18, no. 1, pp. 107–122, 2006.

- [106] D. Mariano, A. N. Silva, P. Pino, and E. L. M. Naves, “Avaliação do desempenho de diferentes configurações de teclados para um sistema CAA,” in *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB 2014*, (Uberlândia-MG, Brasil), 2014.
- [107] F. Pratt, *Secret and urgent: the story of codes and ciphers*. Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1939.
- [108] S. Engine, “Opus2 Brazilian-Portuguese Corpus,” 2013.
- [109] A. Szeto, E. Allen, and M. Littrell, “Comparison of speed and accuracy for selected electronic communication devices and input methods,” *Augmentative and Alternative Communication and Alternative Communication*, vol. 9, no. December, pp. 229–242, 1993.
- [110] C. E. Steriades and P. Constantinou, “Designing human-computer interfaces for quadriplegic people,” *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 10, no. 2, pp. 87–118, 2003.
- [111] I. S. Mackenzie and R. W. Soukoreff, “Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques,” pp. 754–755, 2003.
- [112] A. Kiripolský, *Virtual Keyboard Usability Evaluation on a Touch Screen Device*. Bachelor thesis, Masaryk University, 2014.
- [113] H. Cecotti, “Spelling with non-invasive Brain-Computer Interfaces—current and future trends.,” *Journal of physiology, Paris*, vol. 105, no. 1-3, pp. 106–14, 2011.
- [114] R. C. Simpson and H. H. Koester, “Adaptive one-switch row-column scanning,” in *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 7, pp. 464–473, 1999.
- [115] F. McCall, I. Marková, J. Murphy, E. Moodie, and S. Collins, “Perspectives on AAC systems by the users and by their communication partners,” *European Journal of Disorders of Communication*, vol. 32, no. 3, pp. 235–256, 1997.