



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Litera Braille: desenvolvimento e análise
do dispositivo de baixo custo baseado na
Máquina de Escrever em Braille

Thiago Ribeiro Alves

Feira de Santana

2024



Universidade Estadual de Feira de Santana

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Thiago Ribeiro Alves

**Litera Braille: desenvolvimento e análise do dispositivo
de baixo custo baseado na Máquina de Escrever em
Braille**

Dissertação apresentada à Universidade
Estadual de Feira de Santana como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Ciência da Computação.

Orientadora: Professora Dra. Claudia Pinto Pereira

Coorientador: Professor Dr. Thiago Cerqueira de Jesus

Feira de Santana

2024

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Alves, Thiago Ribeiro
A4821 Litera Braille: desenvolvimento e análise do dispositivo de baixo custo baseado na Máquina de Escrever em Braille / Thiago Ribeiro Alves. – 2024.
160 f.: il.

Orientadora: Claudia Pinto Pereira.
Coorientador: Thiago Cerqueira de Jesus.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2024.

1. Tecnologia assistiva. 2. Deficiência visual. 3. Braille - Sistema de escrita para cegos. 4. Máquina de Escrever em Braille. I. Título. II. Pereira, Claudia Pinto, orient. III. Jesus, Thiago Cerqueira de, coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 004:003.24

Renata Aline Souza Silva - Bibliotecária - CRB-5/1702

Thiago Ribeiro Alves

Litera Braille: desenvolvimento e análise do dispositivo de baixo custo baseado na Máquina de Escrever em Braille

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Feira de Santana, 15 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Claudia Pinto Pereira

Claudia Pinto Pereira (Orientador(a))
Universidade Estadual de Feira de Santana

Thiago Cerqueira de Jesus

Thiago Cerqueira de Jesus (Coorientador(a))
Universidade Estadual de Feira de Santana

Nelma de Cássia Silva Sandes Galvão

Nelma de Cássia Silva Sandes Galvão
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Teófilo Alves Galvão Filho

Teófilo Alves Galvão Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Nilmar de Souza

Nilmar de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Abstract

The Braille system is an important Assistive Technology (AT) resource for accessibility and inclusion of people with visual impairments (VI), aimed at the reading and writing process. With great technological advances, different AT resources emerge and evolve every day, such as audiobooks, digital books and screen readers. These resources are important for the acquisition of knowledge by people with VI, but they do not replace the importance of literacy in the Braille System. Reading and writing in Braille makes it possible, for example, to understand the textual structure, punctuation and spelling rules, skills that are not obtained by students just by listening. Therefore, it is not possible to disregard the importance of developing reading and writing skills in Braille for blind students, just as the same should not be done for sighted students in relation to reading and writing in their languages. Among the existing technologies for learning and practicing Braille, the Braille typewriter presents itself as one of the interesting options, as it is more comfortable and efficient, compared to other solutions such as the regete and the punch, as it allows the performing Braille writing with simultaneous keystrokes and enabling faster tactile feedback. Even given the relevance of Braille and Braille typewriters for people with VI, this equipment is not accessible to most of them, given the high cost of purchasing it. Ensuring the inclusion and accessibility of people with VI, as well as other people with disabilities or various difficulties, is a duty of the state and of all citizens. From this perspective, thinking, proposing and/or providing the development of tools and devices that promote the learning of Braille, a language used for writing and reading by people with visual impairments, is a way to provide autonomy and social inclusion. Given this scenario, this work proposes the development and evaluation of Litera Braille, a low-cost electromechanical device for practicing Braille writing and reading, with functionalities similar to traditional Braille typewriters. To this end, the case study was used as a research method, to evaluate the accessibility and usability based on the user experience, characterized as a qualitative and quantitative research, in addition to considering the assumptions of the Design Thinking methodology for the development of the device. For the physical structure of Litera Braille, the open source project of a laser-cut MDF Braille printer, called *La Picoreuse* (Durand, 2018), was used as inspiration, with the possibility of changes. In addition to this technology, others were also used: a keyboard based on the *Braillestick* device (Santana, 2021) as a Braille character input interface; the print head with a specific function for marking the Braille Cell

dots using 3 servomotors to perform this function; 2 stepper motors, one for delivering the paper and the other for moving the print head over the paper positions; and an Arduino Mega 2560 prototyping board, for controlling the electromechanical components, in addition to collecting and processing signals related to the activation of the *Braillestick* keys. After the development and assembly of Litera Braille, tests were carried out to verify the general functioning, as well as speed analysis and cost assessment for future replication. Finally, Litera Braille was submitted for evaluation by research participants to collect feedback regarding usability and user experience. The developed device received positive reviews with averages close to 90%. The results found point to Litera Braille as an accessible technology mainly due to its price, weight and ease of transport characteristics, enabling the expansion of the use (reading and writing) of Braille by people with visual impairments.

Keywords: Visual Impairment, Braille, Assistive Technology, Braille Typewriter, Low Cost

Resumo

O sistema Braille é um importante recurso de Tecnologia Assistiva (TA) para a acessibilidade e a inclusão das pessoas com deficiência visual (DV), voltado para o processo de leitura e escrita. Com o grande avanço tecnológico, a cada dia surgem e evoluem diversos recursos de TA, como os audiolivros, livros digitais e leitores de tela. Esses recursos contribuem para a aquisição de conhecimento por parte das pessoas com DV, porém não substituem a importância da alfabetização no Sistema Braille. A leitura e escrita em Braille possibilita, por exemplo, a compreensão da estrutura textual, da pontuação e das regras ortográficas, habilidades que não conseguem ser desenvolvidas pelos estudantes apenas pelo escutar. Dessa forma, não é possível desconsiderar a importância do desenvolvimento das habilidades de leitura e escrita em Braille para os alunos cegos, assim como para os videntes não se deve fazer o mesmo em relação à leitura e escrita em suas línguas. Dentre as tecnologias existentes para a aprendizagem e prática do Braille, a máquina de escrever em Braille se apresenta como uma das opções interessantes, por ser mais cômoda e eficiente, se comparada a outras soluções como a reglete e a punção, uma vez que permite a realização da escrita Braille com toque simultâneo das teclas e possibilita um *feedback* tátil mais rápido. Mesmo diante da relevância do Braille e da máquina de escrever em Braille para as pessoas com DV, este equipamento não é acessível para boa parte delas, tendo em vista o custo elevado para a sua aquisição. Garantir a inclusão e a acessibilidade das pessoas com DV, assim como de outras pessoas com deficiências ou dificuldades diversas, é um dever do estado e de todos os cidadãos. Nesta perspectiva, pensar, propor e/ou proporcionar o desenvolvimento de ferramentas e dispositivos que promovam a aprendizagem do Braille, linguagem utilizada para escrita e leitura por parte das pessoas com deficiência visual, é um caminho para proporcioná-las autonomia e inclusão social. Diante deste cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento e a avaliação do Litera Braille, um dispositivo eletromecânico de baixo custo para a prática da escrita e leitura em Braille, com funcionalidades semelhantes às máquinas de escrever em Braille tradicionais. Para tanto, utilizou-se o estudo de caso como método de investigação, para avaliar a aceitação e a usabilidade com base na experiência do usuário, se caracterizando como uma pesquisa qualquantitativa, além de considerar os pressupostos da metodologia *Design Thinking* para o desenvolvimento do dispositivo. Para a estrutura física do Litera Braille, foi utilizado como inspiração o projeto *open source* de uma impressora Braille em MDF cortado a laser, chamado de *La Picoreuse* (Durand, 2018), com

as necessárias alterações. Além desta tecnologia, outras foram também utilizadas: um teclado baseado no dispositivo *Braillestick* (Santana, 2021) como interface de entrada dos caracteres Braille; a cabeça de impressão com função específica para marcação dos pontos da Cela Braille utilizando 3 servomotores para realizar essa função; 2 motores de passo, sendo um para movimentação do papel e outro para movimentação da cabeça de impressão sobre as posições do papel; e uma placa de prototipação Arduino Mega 2560, para controle dos componentes eletromecânicos, além do recebimento e processamento dos sinais relativos ao acionamento das teclas do *Braillestick*. Após o desenvolvimento e montagem do Litera Braille, foram realizados testes para verificação do funcionamento geral, além de análise de velocidade e levantamento de custo para uma futura replicação do mesmo. Por fim, o Litera Braille foi submetido à avaliação dos participantes da pesquisa para recebimento de *feedback* quanto à usabilidade e à experiência do usuário. O dispositivo desenvolvido recebeu avaliações positivas com pontuações médias próximas aos 90%. Os resultados obtidos apontam o Litera Braille como uma tecnologia acessível devido, principalmente, às suas características de preço, de peso e de facilidade de transporte, possibilitando a ampliação do uso (leitura e escrita) do Braille por pessoas com deficiência visual.

Palavras-chave: Deficiência Visual, Braille, Tecnologia Assistiva, Máquina de Escrever em Braille, Baixo Custo

Prefácio

Esta dissertação de mestrado foi submetida à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

A dissertação foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PGCC), tendo como orientadora a Prof. Dra. **Claudia Pinto Pereira**. O Prof. Dr. **Thiago Cerqueira de Jesus** foi coorientador deste trabalho.

Agradecimentos

Nessa trajetória acadêmica, cheia de dificuldade e tropeços, mas sobretudo de conquistas e alegrias, presto homenagem e agradecimento em primeiro lugar à Deus, pois sem a permissão Dele nada seria possível e, durante toda jornada de construção deste trabalho, foi Ele minha fortaleza e direcionamento em muitos momentos.

Agradeço a toda minha família, através de minha mãe, Ana Rita, pela mulher forte que é, trazendo para mim um exemplo de coragem e pelo direcionamento e amor que contribuíram com minha formação pessoal e incentivo para meus estudos.

À minha esposa, Luciana Lima, que acompanhou de perto os desafios que enfrentei ao longo desta jornada, me fortalecendo e contribuindo para meu suporte emocional com seu amor e companheirismo, me encorajando a trilhar todo este percurso até o final.

Aos meus filhos, Pyetra e Cauê, pelo carinho, amor e compreensão que precisaram ter nesse período em que, por vezes, devido às demandas do mestrado, estive ausente.

Agradeço à minha orientadora, professora Dra. Claudia Pinto Pereira, que de forma especial me acolheu desde início, sempre me incentivando e contribuindo, não só com seus conhecimentos acadêmicos, mas também com sua amizade e carinho, os quais levarei para minha vida.

Ao meu coorientador, professor Dr.Thiago Cerqueira de Jesus, com sua disponibilidade e conhecimentos que foram importantes para o desenvolvimento do Litera Braille, sanando minhas dúvidas técnicas e também me dando força para continuar a percorrer o caminho árduo e laborioso, mas também gratificante e enriquecedor, da jornada da pesquisa científica.

Ao professor Dr. Nilmar de Souza, com toda sua bagagem de conhecimento, que sugeriu a utilização de MDF cortado à laser na estrutura do dispositivo desenvolvido, além de ter intermediado a permissão de utilização dos laboratórios e equipamentos da UFRB, o que contribuiu para a conclusão do desenvolvimento do protótipo.

Agradeço à UEFS por todos os recursos disponibilizados para tornar possível a conclusão do mestrado.

Aos participantes da pesquisa que de forma especial se disponibilizaram em avaliar e contribuir com as melhorias no Litera Braille, bem como à Associação Jonathas Telles Carvalho, pela disponibilidade e auxílio na realização deste trabalho.

*“Força não há capaz de enfrentar
uma ideia cujo tempo tenha
chegado. A força não é capaz de
salvar uma ideia cujo tempo tenha
passado.”*

– Humberto Gessinger

Sumário

Abstract	i
Resumo	iii
Prefácio	v
Agradecimentos	vi
Sumário	x
Lista de Publicações	xi
Lista de Tabelas	xii
Lista de Figuras	xv
Lista de Abreviações	xvi
1 Introdução	1
1.1 Problema e Relevância	2
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Questões de Pesquisa	4
1.4 Estrutura do Documento	5
2 Fundamentação Teórica	7
2.1 Deficiência Visual	7
2.2 Acessibilidade	11
2.3 Sistema Braille: Instrumentos para sua Aprendizagem e Utilização . .	13
2.4 Tecnologia Assistiva	18
2.5 Braillestick	21
3 Trabalhos Correlatos	24

4 Metodologia	30
4.1 A Pesquisa-ação	30
4.1.1 Cenário	31
4.1.2 Participantes	31
4.2 Passos Metodológicos Adotados	31
4.3 Instrumentos de coleta de dados da pesquisa	35
4.3.1 Questionário de Perfil dos Participantes	35
4.3.2 Instrumentos de Avaliação de Usabilidade e de Experiência do Usuário	35
4.3.3 Instrumento de Avaliação Aberta sobre as percepções do usuário em relação ao Litera Braille	38
4.4 Submissão do Projeto ao Comitê de Ética	39
4.5 Desenvolvimento do Litera Braille	39
4.6 Avaliação do Litera Braille	41
4.7 Análise dos dados da pesquisa	42
5 Resultados e Discussões	44
5.1 Perfil dos Participantes	45
5.2 Desenvolvimento da primeira versão funcional do Litera Braille	49
5.2.1 Desenvolvimento da Cabeça de Impressão	53
5.2.2 Desenvolvimento da estrutura da primeira versão funcional do Litera Braille	57
5.2.3 Desenvolvimento no esquema eletrônico da primeira versão funcional do Litera Braille	61
5.2.4 Teste da primeira versão funcional	63
5.3 Desenvolvimento da versão atual do Litera Braille	66
5.3.1 Alterações na cabeça de impressão	66
5.3.2 Alterações na estrutura do Litera Braille	67
5.3.3 Alterações no esquema eletrônico do Litera Braille	69
5.4 Código da Arduino	70
5.5 Avaliação do Litera Braille	74
5.5.1 Avaliação de Custo	74
5.5.2 Avaliação Funcional e de Velocidade	75
5.5.3 Avaliação de Usabilidade	78
5.5.4 Avaliação de Experiência do Usuário	80
5.5.5 Avaliação Aberta com os Participantes sobre utilidade e qualidade do Litera Braille	82
5.6 Discussões	86
5.7 Ameaças à Validade	91
6 Considerações Finais	93
6.1 Contribuições	94
6.2 Trabalhos futuros	95

Referências	97
A Legendas Ampliadas	106
B Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE	108
C Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE	110
D Termo de Autorização da Instituição	112
E Questionário de Perfil do Participante	114
F Questionário de Experiência do Usuário	120
G Questionário de Usabilidade	122
H Instrumento de Avaliação Aberta	124
I Código Arduino	128
J Orçamento	139

Lista de Publicações

Alves, T. R., Pereira, C. P., de Jesus, T. C. (2023). Litera Braille: Prototyping and development of low-cost device based on Braille Typewriter. In *EDULEARN23 Proceedings* (pp. 5759-5768). IATED.

Pereira, C. P., Figueiredo, J. S. L., Alves, T. R., dos Santos, N. S., Nelma de Cássia, S., Galvão Filho, T. A. (2024, April). (In) visibilidade da Diversidade nos Cursos Presenciais de Computação e Tecnologias da Informação e Comunicação: Um Panorama das Universidades Públicas da Bahia. In *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Educação em Computação* (pp. 90-101). SBC.

Alves, T. R., Pereira, C. P., de Jesus, T. C. (2022). Litera braille: Prototipação inicial do componente responsável pela impressão dos pontos braille. Comunicação oral apresentada no *V Colóquio sobre Inclusão: Perspectivas e Desafios na Construção de Redes de Apoio, I Seminário Ibero-Americano sobre Acessibilidade e Tecnologia Assistiva em Rede e III Sarau Inclusivo*. CETENS/UFRB.

Lista de Tabelas

5.1	Idade do início da aprendizagem do Braille.	47
5.2	Respostas dos participantes ao questionário de usabilidade. Descrição alternativa da tabela pode ser encontrada no Apêndice A	79
5.3	Pontuação dos quesitos em relação às respostas dos participantes. Descrição alternativa da tabela pode ser encontrada no Apêndice A . .	79
5.4	Tabela de sintetização dos dados das avaliações dos participantes com o UEQ-S.	81
5.5	Tabela de resumo do UEQ-S.	82
5.6	Categorização das opiniões positivas sobre o Litera Braille.	83
5.7	Categorização das opiniões sobre pontos de melhorias no Litera Braille.	85
5.8	Categorização de falas dos participantes relacionadas ao Braille.	88
5.9	Categorização de falas dos participantes relacionadas à máquina de escrever em Braille.	90
5.10	Categorização de falas dos participantes relacionadas à Acessibilidade e Tecnologia Assistiva.	91

Lista de Figuras

2.1	Cela Braille - Fonte: https://formidan.com.br/braille/	14
2.2	Padrão de formação do arranjo dos pontos da Cela Braille - Fonte: ABNT (2020).	15
2.3	Prancheta com reglete e punção - Fonte: https://escoladailha.com.br/portal/quem-inventou-o-braile/	15
2.4	Máquina de escrever em Braille com as suas teclas sendo relacionadas com as respectivas posições da Cela Braille - Fonte: Adaptado de Santana et al. (2019).	16
2.5	Linha Braille (<i>Display Braille</i>) conectada ao computador - Fonte: https://oampliadordeideias.com.br/como-funciona-uma-linha-braille/	17
2.6	Montagem do Protótipo do <i>Braillestick</i> com Arduino Uno - Fonte: Adaptado de Santana (2021).	22
2.7	Protótipos Iniciais do <i>Braillestick</i> - Fonte: Santana (2021).	23
3.1	Projeto de máquina de escrever de baixo custo. a) Posições possíveis do cilindro de marcação dos pontos de uma coluna da Cela Braille e b) projeto da impressora com as peças descritas - Fonte: Adaptado de Moore and Murray (2001).	25
3.2	Sistema de impressão Braille com utilização de codificação mecânica e prensa por solenoide - Fonte: Adaptado de Ouellette (2011).	26
3.3	Opções de Alinhamento dos servos motores para marcação dos pontos da Cela Braille - Fonte: Adaptado de Apurva et al. (2017).	26
3.4	Protótipo de impressora Braille sobre estrutura de impressora HP Deskjet 610C com modificação do sistema de impressão - Fonte: Fernandes et al. (2016).	27
3.5	Modelo do cabeçote de impressão utilizando 3 servomotores PWM -Fonte: Fernandes et al. (2016).	27
3.6	<i>La Picoreuse - Cheap Braille Embosser</i> - Fonte: Durand (2018).	28
4.1	Processo Metodológico do Projeto de Pesquisa.	34
4.2	Itens da versão em português do UEQ-S. Fonte: Adaptado de Schrepp et al. (2017). Descrição alternativa da figura pode ser encontrada no Apêndice A	37

5.1	Gráficos de Gênero e Faixa etária dos participantes.	45
5.2	Gráficos sobre a Deficiência dos Participantes.	46
5.3	Gráficos de Nível de Proficiência com o Braille.	47
5.4	Gráfico sobre tipo de instrumento utilizado para a escrita do Braille.	47
5.5	Gráficos sobre relação com a máquina de escrever em Braille.	48
5.6	Gráficos sobre locais de acesso à máquina de escrever em Braille.	49
5.7	Modelo esquemático da ideia inicial desenvolvida para o Litera Braille mostrando em uma imagem à esquerda o dispositivo <i>Braillestick</i> sendo ligado a uma imagem central representando um dispositivo Arduino Mega 2560 que, por sua vez, se liga à uma imagem à direita representando uma impressora jato de tinta com a adição de uma cabeça de impressão específica criada na pesquisa para marcação dos pontos Braille.	50
5.8	Segundo Modelo esquemático do Litera Braille substituindo a impressora jato de tinta pela impressora Braille <i>La Picoreuse</i> , na imagem da direita, com as necessárias alterações para adaptação ao projeto do Litera Braille.	51
5.9	Fluxo de atividades realizadas na principal funcionalidade do Litera Braille.	53
5.10	Primeiro modelo da cabeça de impressão manufaturado em MDF de 3mm.	53
5.11	Primeiro modelo 3D projetado utilizando técnica de conversão de movimento circular em retilíneo através de engrenagens (técnica pinhão-cremalheira).	54
5.12	Segundo modelo 3D projetado inspirado no mecanismo do garfo escocês (<i>scotch yoke</i>) para conversão de movimento circular em retilíneo.	55
5.13	Terceiro modelo 3D projetado com inspiração no mecanismo de biela-manivela para conversão de movimento circular em retilíneo.	56
5.14	Cabeça de Impressão confeccionada com servomotores, peças resultantes da impressão 3D e hastes metálicas moldadas manualmente.	56
5.15	Cabeça de Impressão desenvolvida com peças estruturais em MDF cortado a laser - a) ênfase parte externa; b) ênfase parte interna.	57
5.16	Impressora Braille <i>La Picoreuse</i>	58
5.17	Impressora Braille <i>La Picoreuse</i>	58
5.18	Peças do Litera Braille.	58
5.19	Impressora <i>La Picoreuse</i> em 3D - A) cabeça de impressão utilizando os eixos horizontais paralelos entre si como suporte; B) fixação dos eixos na estrutura do dispositivo formando uma linha vertical entre os pontos de fixação; C) eixo dos roletes responsáveis por movimentar o papel; e D) sentido da movimentação do papel.	60

5.20 Litera Braille em 3D - A) cabeça de impressão utilizando os eixos horizontais paralelos entre si como suporte; B) fixação dos eixos na estrutura do dispositivo formando uma linha horizontal entre os pontos de fixação; C) eixo dos roletes responsáveis por movimentar o papel; e D) sentido da movimentação do papel. Obs.: a imagem está no sentido oposto da movimentação do papel e de como a mesma é utilizada pelos usuários, devido ao fato de ser a melhor posição para mostrar os detalhes dos componentes.	61
5.21 Litera Braille. a) utilização do dispositivo montado. b) dispositivo em 3D com indicação dos botões.	61
5.22 Portas do Arduino Mega 2560 nas quais é acoplado o <i>Motor Shield 2560</i>	62
5.23 Esquema eletrônico da primeira versão funcional do Litera Braille.	63
5.24 Cabeça de impressão do Litera Braille - a) antes das alterações para adicionar a função Apagar; b) após as alterações com ênfase na parte superior; c) ênfase na parte lateral.	66
5.25 Versão alterada do Litera Braille com destaque para as alterações - a) teclado alterado com mudança no layout e inclusão de novos botões para funcionalidades (R = Retroceder; A = Apagar); b) alteração na cabeça de impressão; c) inclusão de linha com Celas Braille; d) ampliação da peça de base.	67
5.26 Régua de Celas Braille confeccionada em impressora 3D para servir como suporte e molde para a marcação dos pontos pela cabeça de impressão.	68
5.27 Comparação entre versões do Litera Braille - a) versão anterior; b) versão atual.	68
5.28 Litera Braille montado após as alterações.	69
5.29 Esquema eletrônico do Litera Braille após alterações.	70
5.30 Diagrama de Atividades do Litera Braille	73
5.31 Marcações realizadas pelo Litera Braille.	76
5.32 Imagem de livro com a frase “Existem várias formas de ler o mundo” na página do lado direito. Na página do lado esquerdo, a mesma frase escrita em Braille.	77
5.33 Médias por item do UEQ-S.	82
5.34 Gráfico de respostas ao quesito de utilidade do dispositivo.	84
5.35 Gráfico de respostas aos quesitos de legibilidade e velocidade.	85

Lista de Abreviações

Abreviação	Descrição
3D	3 Dimensões
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	American with Disabilities Act
CAP-DV	Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CI	Circuitos Integrados
CID	Classificação Internacional de Doenças
cm	Centímetros
DC	Corrente Contínua (Direct Current)
DV	Deficiência Visual
EUA	Estados Unidos da América
EUSTAT	Empowering Users Through Assistive Technology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LBI	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
MDF	Painel de Fibra de Densidade Média (Medium Density Fiberboard)
mm	Milímetro
NAU	Núcleo de Acessibilidade Universitário
NBR	Norma Brasileira
OCR	Reconhecimento Óptico de Caracteres (Optical Character Recognition)
PWM	Modulação por Largura de Pulso (Pulse Width Modulation)
SNRIPD	Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência de Portugal
SUS	Escala de Usabilidade de Sistema (System Usability Scale)
TA	Tecnologia Assistiva ou Tecnologias de Apoio
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
USB	Porta Serial Universal (Universal Serial Bus)

Capítulo 1

Introdução

A quantidade de pessoas no Brasil com algum grau de Deficiência Visual (DV) é muito relevante. Segundo dados da Pesquisa Nacional em Saúde de 2019, a quantidade de pessoas que se declarava com DV, no Brasil, estava em torno de 3,4% da população com 2 ou mais anos de idade, o que representava aproximadamente 7 milhões de brasileiros com DV em 2019 (IBGE, 2021). Em atualização a esse dado, o IBGE divulgou no ano de 2023 o módulo de Pessoas com deficiência 2022, da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), na qual a quantidade dessas pessoas, na mesma faixa etária, reduziu para 3,1% da população, representando aproximadamente 6,5 milhões de brasileiros com DV (IBGE, 2023), ainda sendo um número expressivo.

Segundo dados do censo da educação básica de 2016, realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), do total de 971.372 alunos da educação especial matriculados em escolas especializadas e regulares, 76.470 são deficientes visuais (MEC, 2017). A quantidade de pessoas com deficiência matriculadas nas instituições de ensino do Brasil vem aumentando. Em 2020, segundo dados do censo educacional, o número de alunos com deficiência, transtornos do espectro autista ou altas habilidades matriculados nas instituições de ensino do país chegou a 1,3 milhões de alunos (INEP, 2021).

De um modo geral, com acesso às ferramentas e metodologias adequadas, que permitam a eles participarem ativamente do processo educacional utilizando-se de outros sentidos, os estudantes com deficiência visual podem ter desenvolvimento cognitivo semelhante aos estudantes sem deficiência visual (Silva and Amaral, 2020).

Infelizmente a realidade da educação especial ainda não é a ideal no Brasil. Segundo o censo educacional anteriormente citado, no ano de 2020, apenas 44,2% dos estudantes com deficiência tiveram um atendimento especializado (INEP, 2021) e os professores de turmas inclusivas (mistas), em muitos casos, não estão preparados para realizar a adaptação adequada na forma de trabalhar os conteúdos conforme a necessidade de cada estudante da educação especial. A capacitação para um adequado processo de inclusão e aprendizado desses estudantes é essencial, conforme

esclarece Glat and Nogueira (2003). A própria LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação), em seu artigo 59, traz a necessidade de capacitação ou especialização para professores que trabalhem com alunos da educação especial (Brasil, 1996).

No quesito relativo à educação especial para os estudantes com DV, os diversos recursos de Tecnologia Assistiva (TA), que surgem e evoluem a cada dia, tais como os audiolivros, livros digitais e leitores de tela, vêm contribuindo para o letramento do estudante com DV e permitindo a comunicação e o acesso a informações. Ainda que sejam recursos relevantes, eles não substituem a importância das pessoas com DV serem alfabetizadas no Sistema Braille, pois esse processo de leitura e escrita possibilita a compreensão da estrutura do texto, da pontuação, de regras ortográficas, as quais não conseguem ser percebidas pelos estudantes apenas pelo escutar (Barbosa and Souza, 2019).

Gehm (2017) complementa que, mesmo com o uso dessas tecnologias, não se pode prescindir da leitura e escrita em Braille para os alunos cegos, da mesma forma que não se pode prescindir da leitura e da escrita para os alunos videntes. Vygotsky (1995) chama a atenção para o importante papel da leitura e escrita no processo de desenvolvimento cultural da criança, permitindo o acesso ao acervo cultural produzido na história da humanidade e que está registrada sob a forma escrita, e pelas funções psíquicas superiores desenvolvidas no processo de apropriação desse conhecimento.

Segundo Dias and de Almeida Vieira (2017), as pessoas com DV que utilizam o Braille possuem um conhecimento gramatical e da ortografia mais apropriados, além de desenvolverem melhor a coordenação motora fina. Indo além, Stanfa and Johnson (2017) afirmam que a pessoa cega, que é fluente em Braille, tem maiores chances de obter sucesso, assim como de conquistar melhores oportunidades de emprego, renda maior e independência.

1.1 Problema e Relevância

Diante da importância observada relativa à aprendizagem da escrita e leitura em Braille para as pessoas com DV, Santana et al. (2019) explicam que algumas tecnologias existentes auxiliam no processo de aprendizagem do Braille, tais como a reglete e punção e a máquina de escrever em Braille, sendo esta última uma das melhores opções para a prática da escrita e leitura em Braille por ser mais cômoda e possibilitar um *feedback* mais rápido do que aquela. Sá et al. (2007) ressaltam que a máquina, por possuir seis botões, um para cada ponto da cela Braille, possibilita a realização da escrita em Braille com toque simultâneo das teclas, considerado, portanto, um método bastante rápido, prático e eficiente.

Mesmo constatando a relevância da máquina de escrever em Braille, ela não é uma ferramenta acessível para boa parte do público alvo, devido aos altos custos necessários para sua aquisição. Em pesquisa de mercado realizada em novembro de 2023,

em sites de empresas varejistas especializadas no comércio de equipamentos de TA no Brasil, encontraram-se preços que variavam de aproximadamente R\$ 5.000,00¹ à R\$ 25.000,00² dependendo do modelo da máquina, tendo a máquina tradicional Perkins preço de aproximadamente pouco mais de R\$ 10.000,00³. Mesmo pesquisando entre objetos usados em sites como Mercado Livre, os preços encontrados variavam de R\$ 3.500,00 a R\$ 5.000,00.

O acesso a esses recursos relevantes de TA se torna ainda mais difícil, tendo em vista que estatisticamente a maior parte das pessoas com deficiência tem alto custo de vida atrelada à baixa renda. Segundo Richardson (2009) apud Alves et al. (2023, p. 5760), “estima-se que cerca de 80% das pessoas com deficiência do mundo vivem em países em desenvolvimento e que aproximadamente 82% vivem abaixo da linha da pobreza”. Em relação à cegueira, Ottaiano et al. (2019) relatam que 90% dos casos ocorrem em áreas pobres do mundo. Associado a estes dados, Silvano and Ribeiro (2017) explicam que as pessoas com algum tipo de deficiência, incluindo as pessoas com DV, possuem um elevado custo de vida, o que torna o acesso a esses dispositivos de TA com custo elevado ainda mais difícil.

Nessa perspectiva de se pensar em alternativas, alguns pesquisadores propuseram o desenvolvimento de dispositivos de menor custo para trabalhar com a escrita e a leitura do Braille, tais como Suzukawa (2010), Fernandes et al. (2016), Apurva et al. (2017) e Durand (2018) que propuseram a criação de impressoras com cabeças de impressão projetadas especificamente para marcação dos pontos dos caracteres Braille. Além destes, apenas o trabalho de Moore and Murray (2001), dentre os encontrados, propôs, de forma conceitual, uma máquina de escrever em Braille de baixo custo. Não foi possível localizar trabalho algum recente que tenha materializado o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo semelhante à máquina de escrever em Braille, como a Perkins ou similares.

Nesse mesmo caminho, na tentativa de disponibilizar uma alternativa de menor custo para o exercício da escrita em Braille, Santana (2021) propôs um dispositivo de entrada eletrônico de baixo custo criado para funcionar como um teclado com posição de teclas baseada na máquina Braille – o *Braillestick*.

O dispositivo foi desenvolvido com uma *case* criada em impressora 3D e que abriga um circuito eletrônico para leitura dos pontos digitados e processamento com Arduino. Foi criado também um *driver* que converte os sinais dos botões pressionados enviados pelo Arduino para o computador, que, por sua vez, converte a informação para um formato de texto que pode ser inserido em qualquer software processador de texto. É um dispositivo muito mais leve e portátil do que a máquina de escrever em Braille, podendo ser instalado em qualquer computador no qual o *driver* seja instalado, além de ter um custo baixo de reprodução.

¹<https://laratec.org.br/produto/maquina-braille-laramara/>

²<https://www.lojaciviam.com.br/produtos-para-cegos/maquinas-braille/maquina-de-escrever-braille-perkins-smart>

³<https://www.lojaciviam.com.br/produtos-para-cegos/maquinas-braille/maquina-de-escrever-braille-perkins-brailler>

O *Braillestick*, no entanto, funciona como dispositivo de entrada, permitindo a digitação dos caracteres Braille com uma tecla para cada ponto da cela Braille, o que permite o exercício da escrita, mas não dispõe da saída em papel para possibilitar o *feedback* tátil e consequentemente não possibilita o exercício da leitura.

Observa-se, portanto, a importância de dispositivos de TA, como a máquina de escrever Braille, que facilitem a prática da escrita e leitura em Braille para as pessoas com DV. Entretanto, como as máquinas Braille tradicionais, como a máquina Perkins, possuem um custo de aquisição elevado, se tornam pouco acessíveis para grande parte do público que delas precisam, em especial aqueles com menor poder aquisitivo. Dessa forma, a existência de recursos de TA de baixo custo oferecem alternativas relevantes para a promoção da prática do Braille e a inserção social destas pessoas (Alves et al., 2023).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar o Litera Braille, um dispositivo eletromecânico de baixo custo para entrada em Braille (pontos Braille) e saída dos respectivos caracteres Braille em relevo no papel, de forma semelhante às máquinas de escrever em Braille tradicionais.

1.2.2 Objetivos Específicos

No sentido de atingir o objetivo geral proposto, alguns objetivos específicos foram definidos:

- Definir a técnica a ser utilizada para a impressão dos pontos Braille;
- Experimentar o uso do *Braillestick*, proposto por Santana (2021), como interface de entrada integrante do Litera Braille e/ou propor alterações necessárias para sua integração à estrutura física final.
- Verificar a aceitação e possíveis correções que melhorem seu manuseio e funcionamento;
- Avaliar se o Litera Braille atende às expectativas de funcionalidades semelhantes às máquinas de escrever em Braille tradicionais, como a Perkins ou similares, mesmo com a diferença de ter um funcionamento eletromecânico;
- Apresentar o Litera Braille no Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual de Feira de Santana, para que seja testado por usuários de modo a realizar a sua validação;

1.3 Questões de Pesquisa

Como este trabalho pretende desenvolver o Litera Braille, um dispositivo eletromecânico de baixo custo com funcionalidades que se assemelhem às da máquina de escrever em Braille, garantindo a digitação com simultânea marcação do caractere

digitado no papel, pretende-se validar a qualidade e a usabilidade do equipamento. Nesse sentido, nesta pesquisa busca-se resposta para as seguintes questões norteadoras:

- QP1: O Litera Braille apresenta um bom funcionamento geral e qualidade razoável em relação à precisão da marcação dos caracteres Braille no papel?
- QP2: O Litera Braille possibilita uma boa velocidade no processo de digitação dos caracteres Braille?
- QP3: De que maneira o Litera Braille é avaliado pelos participantes da pesquisa, em relação à sua usabilidade e à experiência dos usuários?
- QP4: De que maneira o Litera Braille é avaliado em relação a características como custo, peso e emissão de ruídos, se comparado à máquina de escrever em Braille tradicional, como a Perkins?
- QP5: De que maneira as pessoas com DV investigadas entendem a importância do Braille?

1.4 Estrutura do Documento

Neste Capítulo de Introdução, foram apresentados alguns aspectos importantes para o desenvolvimento desta pesquisa, tais como sua contextualização, o problema abordado, a relevância do trabalho ao propor uma ferramenta para contribuir na solução do problema, os objetivos pretendidos e as questões de pesquisa a serem respondidas. Além da Introdução, apresentam-se os Capítulos de Fundamentação Teórica, Trabalhos Correlatos, Metodologia, Resultados e Discussões e de Considerações Finais.

O Capítulo de Fundamentação Teórica discorre sobre alguns conceitos importantes que fundamentam este trabalho e o desenvolvimento da proposta, tais como: Deficiência Visual, Acessibilidade, Sistema Braille, instrumentos de TA para Pessoas com Deficiência Visual, e uma abordagem mais ampla sobre a ferramenta *Braillestick*, que foi utilizada como interface de entrada para o Litera Braille, e a impressora *La Picoreuse* que foi utilizada como referência para o desenvolvimento da estrutura.

No Capítulo de Trabalhos Correlatos, são abordados trabalhos que realizaram estudios que guardam relação com esta pesquisa, nesse caso, com o desenvolvimento de equipamentos semelhantes a máquinas de escrever em Braille ou sistema de impressão em Braille.

No Capítulo de Metodologia, estão descritos os procedimentos que guiaram a realização desta pesquisa, tais como metodologia centrada no usuário *Design Thinking*, o tipo de pesquisa realizado, os métodos qualitativos e quantitativos utilizados para a avaliação do Litera Braille, assim como os procedimentos para a submissão deste projeto ao Comitê de Ética.

No Capítulo de Resultados e Discussões, está descrito o processo de desenvolvimento e melhorias do Litera Braille e a avaliação do dispositivo quanto ao custo, funciona-

mento geral, velocidade, além de avaliações de usabilidade e experiência do usuário com os participantes da pesquisa.

Por fim, no Capítulo de Considerações Finais estão elencadas as principais contribuições da pesquisa desenvolvida, abordando também algumas limitações e dificuldades encontradas e possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste Capítulo, são abordados alguns conceitos necessários à compreensão desta proposta de pesquisa, tais como deficiência visual, a linguagem Braille e sua importância para o processo de letramento das pessoas com deficiência visual, assim como ferramentas tecnológicas que auxiliam no processo de aprendizagem do Braille, em especial o *Braillestick*, além de outros trabalhos correlatos.

2.1 Deficiência Visual

O Estatuto da Pessoa com Deficiência, Lei Federal nº 13.146, de 6 de julho de 2015, define pessoa com deficiência como aquela quem tem algum “impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas” Brasil (2015, art. 2º).

A ONU, na Convenção Sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, reconhece que a deficiência “é um conceito em evolução e que a deficiência resulta da interação entre pessoas com deficiência e as barreiras atitudinais e ambientais que impedem sua plena e efetiva participação na sociedade em igualdade de oportunidades com as demais pessoas” (ONU, 2006, p. 1).

No sentido de diferenciar a deficiência das barreiras enfrentadas por aqueles que a têm, Vygotsky (1983) utilizou os termos defeito primário e defeito secundário, explicando que o defeito primário seria aquele natural, biológico, e o secundário seria uma construção social que se origina a partir do primário em função de como está estruturado o contexto cultural no qual o indivíduo está inserido.

Dentre os tipos de Deficiência, a Deficiência Visual (DV) é caracterizada pela baixa visão (categorias 1 e 2 de graus de comprometimento visual do CID 10) ou cegueira (categorias 3, 4 e 5 do CID 10), com subcategorias que representam graus da deficiência visual (Brasil, 2008). A décima primeira revisão da Classificação Internacional

de Doenças (CID-11), publicada recentemente, no ano de 2022, trouxe algumas atualizações, classificando os tipos de Deficiência Visual em Leve, Moderada, Grave e Cegueira, que pode ser Binocular ou Monocular (WHO, 2022).

Nessas classificações dos graus ou níveis de deficiência visual, duas escalas oftalmológicas são normalmente utilizadas, que são a Acuidade Visual, que é definida como a capacidade do sujeito em reconhecer objetos em uma determinada distância e o Campo Visual, que se refere a amplitude da área alcançada pela visão (Ottaiano et al., 2019).

Uma definição muito importante de deficiência visual, principalmente no que tange à educação e ao desenvolvimento da pessoa com DV, é a definição funcional. O Ministério da Educação, através de documento publicado pela Secretaria de Educação Especial, diz que, do ponto de vista educacional, deve-se evitar o conceito de “cegueira legal” (acuidade visual igual ou menor que 20/200 ou campo visual inferior a 20° no melhor olho), que deve ser utilizada apenas para fins sociais, pois esse conceito não revela o potencial visual útil para a execução de tarefas (Brasil, 2006).

Considerando essa informação, Nunes and Lomônaco (2010, p. 2) explicam que, começou-se a perceber que alguns cegos, por exemplo, “ao aprender o sistema Braille, conseguiam utilizar a visão residual para ler o Braille com os olhos, isto é, algumas pessoas diagnosticadas como cegas aproveitavam a pouca visão que tinham para apreender as informações do mundo”.

[...] a partir de 1970, o diagnóstico de deficiência visual deixou de considerar apenas a acuidade visual para avaliar as formas de percepção do sujeito: se ele apreende o mundo por meio do tato, olfato, cinestesia etc., esta pessoa é considerada cega; se, no entanto, tiver limitações da visão, mas ainda assim conseguir utilizar-se do resíduo visual de forma satisfatória, então, seu diagnóstico é de baixa visão. Tal concepção permite a indicação de auxílios ópticos (óculos, lentes de aumento específicas, lupas etc.); concessão de benefícios sociais e medidas educacionais (como o uso do código braille ou letra comum) (Nunes and Lomônaco, 2010, p. 56).

Conforme esclarece Conde (2017), para fins educacionais se adota a concepção de cego como a pessoa que necessita de instrução em Braille (sistema de escrita por pontos em relevo), mesmo tendo sido diagnosticado com baixa visão. Considera, porém, com baixa visão a pessoa que lê tipos impressos ampliados ou com o auxílio de recursos ópticos potentes.

Outra análise importante a ser feita também diz respeito ao impacto da falta ou dificuldade da visão sobre o desenvolvimento individual e psicológico do indivíduo. A perda de um sentido tão importante como a visão traz diversos impactos que, por sua vez, variam muito entre os indivíduos. Para essa análise é importante saber a idade e a causa da perda visual para compreender melhor as formas com as quais as pessoas com deficiência visual percebem o mundo e o impacto disso sobre as suas vidas. Nesta perspectiva, Sá et al. (2007) apontam que a cegueira pode ocorrer desde o nascimento

(cegueira congênita), ou posteriormente (cegueira adventícia, usualmente conhecida como adquirida) em decorrência de causas orgânicas ou acidentais.

Para Nunes and Lomônaco (2010), a cegueira é considerada adquirida para os cegos que perderam a visão a partir dos cinco anos, e considera-se cegueira congênita para os casos ocorridos anteriormente a essa idade. Essa delimitação da idade de cinco anos para o diagnóstico de cegueira adquirida, segundo os referidos autores, é fruto de pesquisas que não identificaram memória visual em cegos que perderam a visão antes dessa idade.

Para Gil (2000), a pessoa que nasce com o sentido da visão, perdendo-o mais tarde, guarda memórias visuais, conseguindo se lembrar das imagens, luzes e cores que conheceu, e isso seria muito útil para sua readaptação. Porém quem nasce sem a capacidade da visão, por outro lado, jamais pode formar uma memória visual ou possuir lembranças visuais.

Almeida and Araujo (2013, p. 1) esclarecem que o cego congênito, por sua vez, “não apresenta sentimentos de perda, pois ele nunca teve essa experiência, a cegueira para eles não é algo insuperável, trágico, pois se desenvolveu e aprendeu sem esse sentido”. Já a pessoa com cegueira adquirida, além de lidar com a perda do sentido da visão, precisa lidar com perdas emocionais, pessoais e profissionais, decorrentes da situação, necessitando do apoio familiar e, muitas vezes, também de acompanhamento terapêutico e de uma equipe multidisciplinar (Santana, 2021).

O cego congênito, como explica Sena (2014), aprende a lidar com a falta da visão desde o nascimento, assim como todos à sua volta, necessitando, desde muito cedo, de estimulação precoce, para que ele perceba o mundo e comece a criar conceitos e representações das coisas à sua volta através dos outros sentidos, em especial o tato e a audição.

Perceber é um termo originário do latim *percipere*, que significa adquirir conhecimento de algo por meio dos sentidos, formar a ideia de alguma coisa e abrangê-la com inteligência [...]. Por meio da percepção, o indivíduo é capaz de apreender o mundo externo e interno. O indivíduo recebe informações do meio pelas vias sensoriais (os cinco sentidos) e pela capacidade cinestésica (Herval, 2008, p. 92).

Alves et al. (2023) reforçam que a pessoa cega percebe o mundo a sua volta através dos sentidos remanescentes, em especial o tato e a audição. Nesse sentido, Garcia and Braz (2020)(2020) complementam que é importante possibilitar à criança com DV a aquisição do conhecimento a partir da sua maneira particular de perceber o mundo. Para isso é necessário, não só os professores, mas também os pais e demais educadores, oportunizar às crianças com DV formas diversas para estimular a participação nas atividades escolares e desenvolver as habilidades de vida cotidiana.

Compreende-se que a criança explora o entorno de maneira fragmentada por meio das mãos e do reconhecimento de fontes sonoras, mas para isso, necessitam comunicar para reunir impressões, identificar os estímulos,

interpretar as informações coletadas, estabelecer semelhanças e diferenças, criar esquemas e fazer conexões entre os diferentes componentes e dados das realidades (Batista et al., 2014, p. 13).

A pessoa com DV é cognitivamente capaz de aprender, basta que lhe sejam proporcionadas situações de aprendizagem significativa e atividades que utilizem os outros sentidos que não a visão. O educador precisa se preocupar em desenvolver estratégias, materiais e recursos para que as pessoas com DV possam se desenvolver, conhecendo o mundo que as rodeia, sem dispor da visão. Segundo Sena (2014), é importante que os educadores propiciem condições para que a pessoa com DV explore e compreenda o mundo à sua volta, organizando o que aprendeu através dos sentidos remanescentes, ainda que tenha em algum momento de sua vida experimentado a visão.

A criança cega ou surda pode ter o mesmo desenvolvimento que uma criança normal; entretanto, as crianças com deficiência o fazem de uma maneira diferente, por um caminho distinto, com outros meios, e para os pedagogos é importante conhecer as peculiaridades deste caminho pelo qual devem conduzir estas crianças (Vygotsky, 1983, p. 27).

A pessoa com DV grave ou cega percebe o mundo por meio dos sentidos residuais como o tato, o olfato, o paladar e a audição, mas o significado das coisas, na maioria dos casos, lhe é transmitido por pessoasvidentes que têm vivências e significâncias comprehensivelmente diferentes. Considerando que as “crianças cegas operam com dois tipos de conceitos: aqueles que têm significado real para elas a partir de suas experiências e aqueles que fazem referência a situações visuais, que embora sejam importantes meios de comunicação, podem não ser adequadamente compreendidos ou decodificados e ficam desprovidos de sentido” (Sá et al., 2007, p. 21).

Sabendo da importância da linguagem no desenvolvimento humano, observa-se que para o cego, a linguagem assume um papel ainda maior, porque as informações visuais a que ele não tem acesso, lhes são transmitidas através da linguagem. Nunes and Lomônaco (2010) explicam que a consequência deste impasse é que a pessoa cega tem que fazer constantes ajustes entre aquilo que ela conhece por meio de suas percepções e aquilo que chega pela fala dos que a rodeiam.

Neste contexto, é importante que a sociedade, em especial a família e a escola, compreendam as peculiaridades do processo de apreensão das informações e compreensão do mundo pelas pessoas com DV, principalmente os cegos. A família e a escola devem oportunizar situações de aprendizagem que estimulem o aprendizado através dos sentidos remanescentes e tentar entender as diferenças de compreensão do mundo por quem não tem parâmetros visuais.

Conforme esclarece Gil (2000), a família precisa oferecer à pessoa com DV condições para seu crescimento como indivíduo, tornando-o capaz de ser feliz e produtivo, dentro de sua realidade, de suas potencialidades e de seus limites, procurando entender que ele é uma pessoa total e evitando focar na deficiência para dar ênfase às potencialidades.

Além da família, a escola e a sociedade também podem e devem contribuir no sentido de ajudar a enfrentar os obstáculos colocados pela deficiência. Sena (2014) explica que o educador precisa se preocupar em desenvolver estratégias, materiais e recursos para que as pessoas com deficiência visual possam se aproximar do mundo que as rodeia, sem dispor da visão.

O aluno cego, em sua vida escolar, necessita de materiais adaptados que sejam adequados ao conhecimento tático-cinestésico, auditivo, olfativo e gustativo – em especial materiais gráficos tateáveis e o braille. A adequação de materiais tem o objetivo de garantir o acesso às mesmas informações que as outras crianças têm, para que a criança cega não esteja em desvantagem em relação aos seus pares (Nunes and Lomônaco, 2010, p. 60).

Sá et al. (2007) também explicam que para promover a comunicação e o entrosamento entre todos os estudantes, é necessário preparar recursos didáticos que possuam estímulos visuais, táticos ou sonoros que atendam às diferentes condições visuais. Portanto, o material deve apresentar cores contrastantes, texturas e tamanhos adequados para que se torne útil e significativo.

Segundo Alves et al. (2023), é necessário disponibilizar, em sala de aula, diversos recursos que atendam a diversidade de alunos, assim como a utilização do sistema Braille e fontes ampliadas, além de outras estratégias para estimular o uso dos sentidos remanescentes e da visão residual, para os casos específicos de alunos com deficiência visual. Dessa forma, é possível também estimular a aprendizagem e o letramento em Braille.

2.2 Acessibilidade

As pessoas com deficiência, para além da deficiência primária (física), se deparam com barreiras de cunho sócio-cultural, denominadas, por Vygotsky (1983), de defeito secundário, que se estrutura em meio ao contexto cultural no qual o indivíduo está inserido. Cabe a toda a sociedade contribuir para minimizar essas barreiras e dificuldades, definidas pela LBI - Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146) como:

[...] qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa, bem como o gozo, a fruição e o exercício de seus direitos à acessibilidade, à liberdade de movimento e de expressão, à comunicação, ao acesso à informação, à compreensão, à circulação com segurança, entre outros (Brasil, 2015, art. 3, inciso IV).

A própria LBI (Brasil, 2015, art. 3, inciso IV) auxilia na compreensão dessas barreiras classificando-as em:

- **barreiras urbanísticas:** as existentes nas vias e nos espaços públicos e privados abertos ao público ou de uso coletivo;
- **barreiras arquitetônicas:** as existentes nos edifícios públicos e privados;

- **barreiras nos transportes:** as existentes nos sistemas e meios de transportes;
- **barreiras nas comunicações e na informação:** qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que dificulte ou impossibilite a expressão ou o recebimento de mensagens e de informações por intermédio de sistemas de comunicação e de tecnologia da informação;
- **barreiras atitudinais:** atitudes ou comportamentos que impeçam ou prejudiquem a participação social da pessoa com deficiência em igualdade de condições e oportunidades com as demais pessoas; e
- **barreiras tecnológicas:** as que dificultam ou impedem o acesso da pessoa com deficiência às tecnologias.

Para superar essas barreiras, ou mesmo evitar sua criação, é necessário que toda a sociedade se comprometa em prover a acessibilidade para que as pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida possam viver de forma independente e exercer seus direitos, permitindo e ampliando sua participação social cidadã. A LBI define acessibilidade como:

[...] possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida (Brasil, 2015, art. 3, inciso I).

Outra definição de acessibilidade pode também ser encontrada no Decreto Federal nº 5.296 de 2004, sendo descrita como:

Condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida (Brasil, 2004, art. 8, inciso I).

Existem diversos tipos de acessibilidade, dos quais Pletsch et al. (2021) apresenta cinco deles:

- **Acessibilidade Arquitetônica:** eliminação das barreiras ambientais físicas, nas residências, nos edifícios, nos espaços urbanos, nos equipamentos urbanos, nos meios de transporte individual ou coletivo;
- **Acessibilidade Atitudinal:** eliminação das barreiras impostas por preconceitos, estigmas, estereótipos e discriminação;
- **Acessibilidade Comunicacional:** ausência de barreiras na comunicação inter-pessoal, na comunicação escrita, na comunicação virtual (acessibilidade no meio digital);

- **Acessibilidade Metodológica no Ensino, Pesquisa e Extensão:** eliminação de barreiras nos métodos, teorias e técnicas de ensino/aprendizagem, de trabalho, de ação comunitária (social, cultural, artística, entre outras); e
- **Acessibilidade Instrumental:** ausência de barreiras nos instrumentos, utensílios, materiais, aparelhos, recursos de tecnologia assistiva, ferramentas de trabalho, estudo, lazer, recreação e de vida diária;

Essa classificação dos tipos da acessibilidade não é consenso entre os autores, e também não são excludentes entre si. A dificuldade de acesso a um determinado equipamento digital, por exemplo, pode ser incluída em diversos tipos, como, por exemplo, comunicacional, física e instrumental.

Hott et al. (2018) esclarecem que para auxiliar a inclusão de pessoas com deficiência, alguns recursos podem ser utilizados, tais como o uso do Braille, da Linguagem Brasileira de Sinais (LIBRAS), dos leitores de tela e audiodescrição, das legendas entre outros. Além dos recursos, também existem padrões e normas utilizados para assegurar a acessibilidade no desenvolvimento das pessoas. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe de várias normas e diretrizes que visam garantir inclusão e acessibilidade (e.g. NBR 9050 (ABNT, 2020); NBR 15290 (ABNT, 2016); NBR 15599 (ABNT, 2008); NBR 15570 (ABNT, 2021)).

Mesmo a acessibilidade sendo um direito de todos, infelizmente muitas pessoas ainda não têm acesso adequado às informações físicas ou digitais, demonstrando que, mesmo com recursos e normas existentes, essas barreiras ainda estão presentes na sociedade, construções e equipamentos (Barbosa and Souza, 2019).

Uma das formas de promover acessibilidade aos indivíduos que possuem alguma deficiência é através da utilização de instrumentos de Tecnologia Assistiva (TA). O conceito de TA vai muito além do desenvolvimento de recursos e dispositivos, englobando também os processos, as estratégias e as metodologias utilizadas com o propósito de auxiliar pessoas com deficiência no rompimento ou na amenização de barreiras Galvão Filho (2009).

Diante da importância do Braille e dos instrumentos de TA que auxiliam na sua utilização para o processo de aprendizagem, escrita e leitura por parte das pessoas com DV, os temas Sistema Braille e Tecnologia Assistiva são abordados nas seções seguintes.

2.3 Sistema Braille: Instrumentos para sua Aprendizagem e Utilização

A *American Foundation for the Blind* (Associação Americana para os cegos) define o Braille como um sistema de pontos em relevo que podem ser lidos com os dedos por pessoas cegas ou com baixa visão, funcionando como um código pelo qual muitos

idiomas – como inglês, espanhol, árabe, chinês e dezenas de outros – podem ser escritos e lidos, fornecendo um meio de alfabetização para todos.

Coraini et al. (2019) complementam que o Braille é um sistema de escrita e leitura tátil que consiste na combinação de seis pontos em relevo dispostos na vertical em duas colunas de três pontos cada, chamado de “Cela Braille” ou “Célula Braille”. Com 6 pontos, com posições universalmente numeradas de um a seis, é possível formar 64 (2^6) combinações únicas, ou seja, representar 63 arranjos, sem contar com o espaço, o que é suficiente para o alfabeto e muitos outros caracteres (Borges, 2009; El-Moughny and Dias, 2008).

Braille usou os 4 pontos superiores para as letras de A até J, eliminando algumas combinações que seriam difíceis de identificar, sendo cego. Por exemplo, ele usou apenas o ponto 1 para representar a letra A, mas deixou de lado a possibilidade de usar só o ponto 2 ou só o 4 ou só o 5, pois o leitor se confundiria. Essas primeiras letras não usaram a linha inferior. Então Braille usou a mesma sequência de pontos agregada ao ponto 3 para as próximas 10 letras e depois incluindo o ponto 6 para as letras restantes (de Carvalho and dos Santos Borges, 2020).

Segundo a normatização oficial do Ministério da Educação (Brasil, 2002, p. 15), o espaço ocupado por qualquer sinal se denomina “Cela Braille” ou “Célula Braille” e, quando vazio, é também considerado um arranjo combinatório.

A Figura 2.1 mostra a representação de uma Cela Braille com os seus pontos numerados de 1 a 6. Conforme as posições sejam marcadas em relevo de acordo com o código desenvolvido por Braille, é possível simbolizar diversos tipos de caracteres como letras e números. A letra “A”, por exemplo, é formada pelo ponto 1, e a letra “B”, pelos pontos 1 e 2.

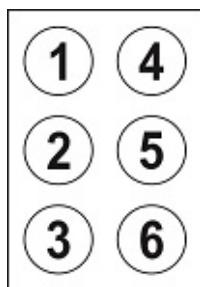


Figura 2.1: Cela Braille - Fonte: <https://formidan.com.br/braille/>.

No Brasil, o padrão ABNT NBR 9050 de 2020 define que a Cela Braille deve ser formada por arranjo de seis pontos em duas colunas, cujos pontos devem ter aresta arredondada na forma esférica de 1,2 a 2,0 mm de diâmetro e 0,6 a 0,8 mm de altura (relevo), além de definir o espaçamento entre os pontos da Cela Braille assim como a distância entre Celas (ABNT, 2020), como pode ser visto na Figura 2.2.

Existem algumas formas tradicionalmente utilizadas para registrar a escrita em Braille. O método mais antigo, inventado pelo próprio Louis Braille em 1837, e

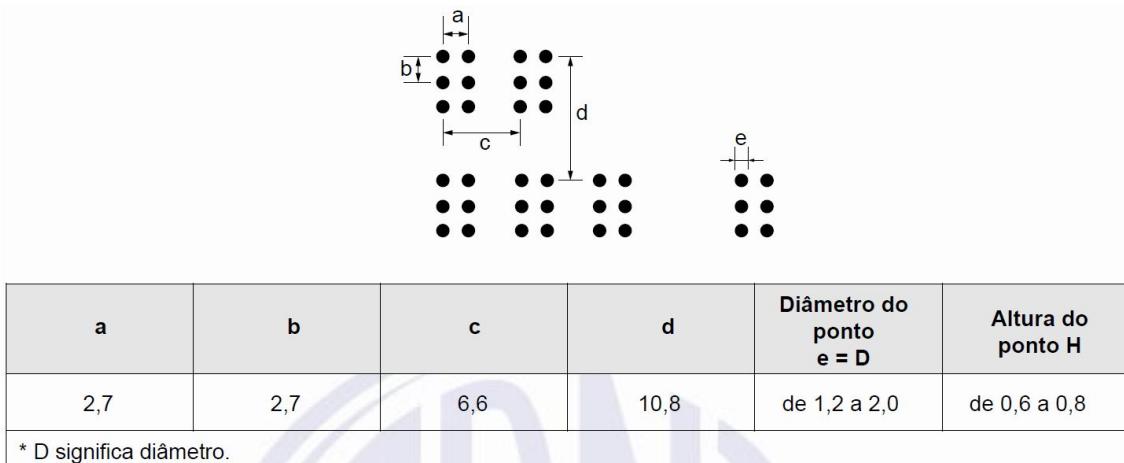


Figura 2.2: Padrão de formação do arranjo dos pontos da Cela Braille - Fonte: ABNT (2020).

mais utilizado por ter um custo mais acessível, é a reglete e a punção (Figura 2.3). Para escrever utilizando essas ferramentas, é necessário prender o papel na reglete, uma espécie de régua que possui uma quantidade de celas Braille, e marcar os pontos com o auxílio da punção, formando dessa forma os caracteres desejados (Santana et al., 2019; Alisson, 2017).

Na reglete tradicional, pelo fato de os pontos serem escritos em baixo relevo e a leitura ser realizada em alto relevo, a escrita é iniciada do lado direito e os caracteres são escritos espelhados, de modo que, quando a folha é virada para a leitura (realizada da esquerda para direita), os caracteres estejam do lado correto. Na reglete positiva, desenvolvida mais recentemente, em 2007, o usuário pode começar a escrever da esquerda para a direita, porque não é necessário virar a folha para ler o que foi escrito (Batista, 2018, p. 15).

A Figura 2.3 mostra o exemplo de uma reglete metálica de bancada com 4 linhas e 24 Celas Braille por linha. A reglete encontra-se posicionada sobre uma prancheta apropriada ao uso deste instrumento. Sobre a prancheta e logo acima da reglete, encontra-se a imagem de uma punção com apoio em material plástico de cor preta e ponta metálica.

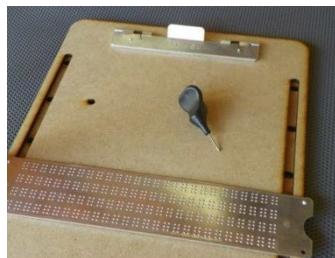


Figura 2.3: Prancheta com reglete e punção - Fonte: <https://escoladailha.com.br/portal/quem-inventou-o-braile/>.

Outra opção um pouco mais sofisticada para a realização da escrita em Braille é a máquina de escrever em Braille (em inglês comumente chamada de *Brailler*) ou máquina *Perkins*. Os modelos mais comuns dessas máquinas possuem seis teclas referentes às posições da Cela Braille, uma tecla para registrar um espaço e mais duas teclas de auxílio nas extremidades, sendo uma para passar a linha e outra de retrocesso ao caractere anterior. Nesta máquina o Braille é produzido da esquerda para direita, podendo ser lido sem a retirada do papel da máquina. Outra vantagem desse equipamento é a possibilidade de fazer simultaneamente todos os pontos de um sinal, em vez de os gravar um a um, como com a punção.

A Figura 2.4 mostra um exemplo de máquina de escrever em Braille tendo as suas 6 teclas principais relacionadas com as respectivas posições da Cela Braille. A tecla ao centro, entre as teclas relacionadas aos números da Cela Braille, tem a função de espaço.

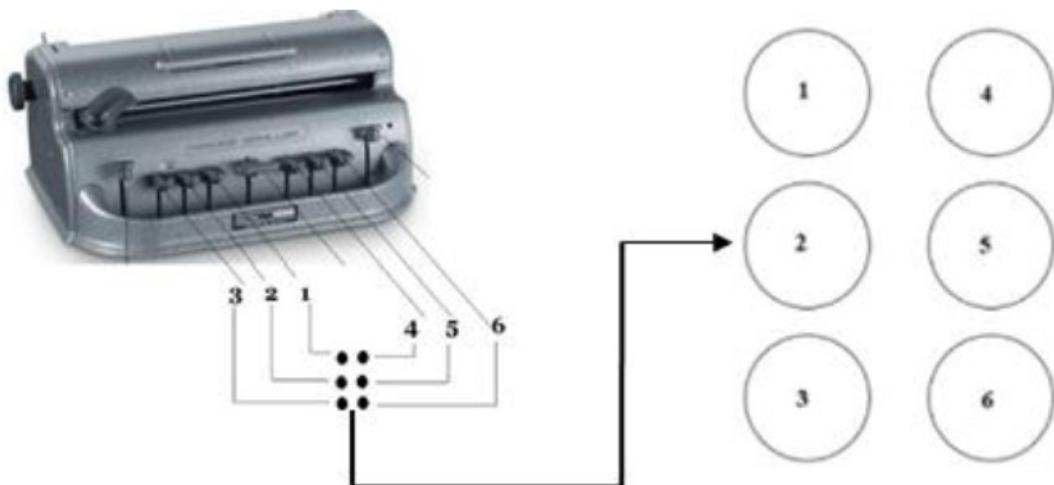


Figura 2.4: Máquina de escrever em Braille com as suas teclas sendo relacionadas com as respectivas posições da Cela Braille - Fonte: Adaptado de Santana et al. (2019).

Apesar das vantagens da máquina de escrever em Braille, este acaba sendo um equipamento pouco utilizado pelas pessoas com DV devido principalmente ao preço, em especial em países em desenvolvimento (Santana et al., 2019). Outra opção interessante para o exercício da leitura e escrita em Braille é a Linha Braille (muito conhecida em inglês por *Refreshable Display Braille* ou apenas *Display Braille*) que é um dispositivo muito leve, portátil que, quando conectado ao computador, converte as informações digitais da tela do computador, normalmente traduzida por algum software leitor de tela, em informações táteis. A Linha Braille possui uma linha de celas (células) Braille, onde pinos são acionados para formar uma frase (Cook and Polgar, 2014). Porém, como são dispositivos muito caros, normalmente mais caros do que a máquina de escrever em Braille, se tornam inacessíveis para grande parte da população (Torres and Ramirez, 2019).

A Figura 2.5 mostra o exemplo de uma Linha Braille conectada a um computador e sendo manuseada por um usuário. Linha Braille apresenta algumas teclas para interação do usuário com o computador, permitindo uma escrita baseada nos pontos da Cela Braille, e uma linha com Celas Braille de 8 pontos para possibilitar uma leitura tátil da informação disponível em textos na tela do computador. O Braille de 8 pontos é mais utilizado em sistemas informáticos e foi desenvolvido devido à necessidade de ampliar o número de símbolos representados por um único sinal Braille, principalmente na interação com computadores, sem prejudicar a legibilidade, nem aumentar excessivamente o espaço ocupado pelo texto (Hildebrandt et al., 2004).



Figura 2.5: Linha Braille (*Display Braille*) conectada ao computador - Fonte: <https://oampliadordeideias.com.br/como-funciona-uma-linha-braille/>.

Com o avanço tecnológico, principalmente com as contribuições da computação e ampliação com a internet, surgiram diversas outras tecnologias que facilitam a vida das pessoas com DV, auxiliando no processo de inclusão e melhoria no acesso à informação, tais como os áudio livros e softwares leitores de tela e sintetizadores de voz. Porém, com a facilidade oferecida por essas novas tecnologias para o acesso à informação, conforme esclarece Batista (2018), ficou mais fácil ouvir a informação do que ler através do Braille e isso está fazendo com que o Braille venha sendo deixado de lado em um processo que ficou conhecido como “desbrailização”.

Esse tipo de tecnologia digital em áudio permite a obtenção de informação, mas o aprendizado do Braille fica comprometido pela necessidade do uso do tato para sua apreensão pelos que não enxergam, considerando sobretudo a sua importância para o processo de ensino e aprendizagem da escrita e da leitura, indispensáveis à alfabetização e ao letramento dos estudantes cegos.

Para Martinez et al. (2018), a “desbrailização” coloca em risco a educação das pessoas com DV porque o texto em áudio não ensina a ler e a escrever, pois não possibilita reconhecer a ortografia das palavras e a estrutura de um texto, não sendo essas tecnologias de áudio suficientes para o processo adequado de alfabetização.

Beal and García (2019) trazem a informação que pessoas cegas têm mais chances de vivenciar taxas mais altas de pobreza e levar uma vida marcada por desigualdades, sendo, porém, que a pessoa cega que é fluente em Braille e faz o uso dele tem mais

chances de obter sucesso, independência, maior probabilidade de conseguir emprego, renda maior e satisfação no trabalho. Segundo a ONU – Brasil (2019), o Braille é essencial na educação das pessoas com DV, pois possibilita a livre expressão de opinião e o acesso às informações.

Interessante diferenciar Letramento e Alfabetização, dois conceitos importantes no processo educacional. Para Soares (2004), a alfabetização compreende atividades para a aquisição do sistema Braille por meio da codificação e decodificação da escrita e leitura. Já o letramento é o desenvolvimento do uso competente da leitura e da escrita Braille em práticas sociais.

A importância do sistema Braille também é reconhecida na legislação brasileira. A Portaria nº 2.678 (Brasil, 2002) aprova as diretrizes e normas para o uso, ensino, produção e difusão do sistema Braille em todas as modalidades do ensino, compreendendo o Projeto da Grafia Braille para Língua Portuguesa. A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) (Brasil, 2015) também trata dessa importância ao trazer o reconhecimento da pessoa com deficiência e os dispositivos que lhe assegurem a cidadania, sendo o sistema Braille considerado um instrumento indispensável para a comunicação, favorecendo a interação entre as pessoas e o acesso à informação adequada, de modo a ampliar habilidades funcionais dos estudantes com deficiência visual, e promover neles a autonomia e participação.

2.4 Tecnologia Assistiva

O termo Tecnologia Assistiva (TA), segundo Bersch (2017), é utilizado para identificar os recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência ou outras dificuldades causadas pela idade, por exemplo, e consequentemente promover vida mais independente e inclusão. Para Bersch (2017), a TA pode ser compreendida como auxílios que possibilitam a ampliação de habilidades funcionais deficitárias, permitindo a realização de tarefas que estavam impedidas pela deficiência ou envelhecimento.

O termo Tecnologia Assistiva (no inglês *Assistive Technology*) foi cunhado pela primeira vez na legislação Estadunidense em 1988, na *Public Law 100-407*, que compõe, com outras leis, o ADA – *American with Disabilities Act*. Essa legislação, segundo Bersch (2017), regula os direitos dos cidadãos com deficiência dos EUA, estabelecendo os critérios e bases legais que regulamentam acesso a direitos e recursos que estes necessitam.

O termo *Assistive Technology*, traduzido no Brasil como Tecnologia Assistiva, foi criado oficialmente em 1988 como importante elemento jurídico dentro da legislação norte-americana, conhecida como *Public Law 100-407*, que compõe, com outras leis, o ADA – *American with Disabilities Act*. Este conjunto de leis regula os direitos dos cidadãos com deficiência dos EUA, além de promover a base legal dos fundos públicos para a compra dos recursos que estes necessitam. Houve a necessidade

de regulamentação legal deste tipo de tecnologia, a TA, e, a partir desta definição e do suporte legal, a população norte-americana, de pessoas com deficiência, passa a ter garantido pelo seu governo o benefício de serviços especializados e o acesso a todo o arsenal de recursos que necessitam e que venham favorecer uma vida mais independente, produtiva e incluída no contexto social geral (Bersch, 2005 apud Galvão Filho, 2009, p. 2).

Segundo Galvão Filho (2009), no contexto europeu, outro termo muito utilizado é traduzido como Tecnologia de Apoio. O Consórcio EUSTAT - *Empowering Users Through Assistive Technology*, afirma que o conceito de Tecnologias de Apoio “engloba todos os produtos e serviços capazes de compensar limitações funcionais, facilitando a independência e aumentando a qualidade de vida das pessoas com deficiência e pessoas idosas” (EUSTAT, 1999 apud Galvão Filho, 2009, p. 4).

É importante ter, à partida, uma noção clara do termo Tecnologias de Apoio (TA), visto tratar-se de uma expressão chave predominante nas presentes Linhas de Orientação. Em primeiro lugar, o termo tecnologia não indica apenas objectos físicos, como dispositivos ou equipamento, mas antes se refere mais genericamente a produtos, contextos organizacionais ou “modos de agir” que encerram uma série de princípios e componentes técnicos. Uma “tecnologia de acesso a transportes públicos”, por exemplo, não consiste apenas numa frota de veículos acessíveis (ex. autocarros com plataforma elevatória), mas engloba toda a organização dos transportes, incluindo controlo de tráfego, implantação das paragens, informações e procedimentos de emissão/validação de bilhetes, serviço de clientes, formação do pessoal, etc. Sem uma organização deste tipo, o simples veículo não ofereceria qualquer “transporte público”. Em segundo lugar, o termo de apoio é aplicado a uma tecnologia, quando a mesma é utilizada para compensar uma limitação funcional, facilitar um modo de vida independente e ajudar os idosos e pessoas com deficiência a concretizarem todas as suas potencialidades (EUSTAT, 1999 apud Galvão Filho, 2009, p. 5-6).

Em alguns países de língua latina, como Portugal, o termo utilizado é Ajudas Técnicas que, conforme define o Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência (SNRIPD) de Portugal (Portugal, 2007).

No Brasil o termo utilizado inicialmente também foi o de Ajudas Técnicas, mas o Comitê de Ajudas Técnicas – CAT, que foi instituído pela Portaria Nº 142, de 16 de novembro de 2006, a partir de um levantamento no referencial teórico internacional pesquisando os termos *Ayudas Técnicas*, Ajudas Técnicas, *Assistive Technology*, Tecnologia Assistiva e Tecnologia de Apoio, decidiu por utilizar o termo Tecnologia Assistiva (Brasil, 2009) em perspectiva também similar com a empregada posteriormente na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Brasil, 2015):

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (Brasil, 2009, p. 10).

A tecnologia, de um modo geral, vem tornando a vida das pessoas mais fácil e confortável, porém, para as pessoas com algum tipo de deficiência, os recursos de TA têm um papel ainda mais importante, no sentido de contribuir para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão (Bersch, 2017; Radabaugh, 1993). A importância da TA pode ser observada na iniciativa da LBI em comparar o não fornecimento de ferramentas de TA e a não realização de adaptações necessárias com a discriminação, o que é considerado crime pela citada legislação.

Considera-se discriminação em razão da deficiência toda forma de distinção, restrição ou exclusão, por ação ou omissão, que tenha o propósito ou o efeito de prejudicar, impedir ou anular o reconhecimento ou o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais de pessoa com deficiência, incluindo a recusa de adaptações razoáveis e de fornecimento de tecnologias assistivas (Brasil, 2015, art. 4, parágrafo 1º).

Galvão Filho and Damasceno (2007), no entanto, advertem sobre a importância de diferenciar entre o uso de um equipamento como uma TA e seu uso como uma tecnologia comum.

Quando uma pessoa com deficiência precisa utilizar, por exemplo, o computador para realizar uma tarefa que outra pessoa sem deficiência poderia executá-la sem utilizar o computador, como acender uma lâmpada, atender um telefone ou ler um livro, então, nestes casos, tem-se o computador como mediador entre a pessoa com deficiência e a tarefa realizada. Trata-se, nestes casos, de uma tecnologia assistiva (Nunes et al., 2014, p. 4).

Nesse sentido é importante observar que equipamentos utilizados, por exemplo, por profissionais de saúde como médicos e fisioterapeutas, ainda que no auxílio ao atendimento de pessoas com deficiência, não são tecnologia assistiva e sim tecnologia médica ou de reabilitação (Bersch, 2017). O mesmo se dá em relação a tecnologias utilizadas no processo educacional que também são facilmente confundidas com a Tecnologia Assistiva.

Um aluno com deficiência física nos membros inferiores e que faz uso de cadeira de rodas, utilizará o computador com o mesmo objetivo que seus colegas: pesquisar na web, construir textos, tabular informações, organizar suas apresentações etc. O computador é para este aluno, como para seus colegas, uma ferramenta tecnológica aplicada no contexto educacional e, neste caso, não se trata de Tecnologia Assistiva (Bersch, 2017, p. 12).

Existem variados produtos de TA para auxiliar nas mais diversas atividades, como na locomoção, no acesso à informação e na comunicação, no controle do ambiente e em diversas atividades do cotidiano como o estudo, o trabalho e o lazer (Melo et al., 2006). Muletas, andadores, cadeiras de rodas, órteses e próteses, aparelhos auditivos, são alguns exemplos de produtos de TA bastante comuns.

Para auxiliar no processo de autonomia das pessoas com deficiência visual também foram criadas várias ferramentas, tais como a bengala e utilização de sinalizadores

nos pisos, ferramentas de ampliação de texto para quem tem baixa visão. Costa et al. (2006) citam o sistema Braille de escrita e leitura, o qual caracterizam como a maior contribuição para as pessoas cegas. Existem tecnologias próprias para o registro desta escrita do Braille, tais como a reglete com a punção e a máquina de escrever em Braille, além de outros recursos tecnológicos que são utilizadas em conjunto com o computador como a linha Braille e a impressora Braille (Nunes et al., 2014).

Sá et al. (2007) e Melo et al. (2006) apresentam alguns exemplos de recursos computacionais de TA que vêm sendo utilizadas para melhorar a vida das pessoas com deficiência visual, tais como a linha ou *display Braille*; os softwares ampliadores de tela ou de caracteres, que aumentam o tamanho da fonte e das imagens na tela do computador para os usuários que têm baixa visão; os leitores de tela que são programas que utilizam voz sintetizada para reproduzir a informação exibida na tela do computador; programas OCR (*Optical Character Recognition* - Reconhecimento Óptico de Caracteres), que possibilitam converter imagens, por exemplo, de um *scanner* e transformar as informações em texto, além de outros programas e equipamentos que vêm contribuindo para as atividades e aprendizagem das pessoas com DV.

Em relação a importância da utilização dos recursos de TA no processo educacional, de Sá et al. (2018) advertem que apenas ter os recursos tecnológicos à disposição não garante sua contribuição para a aprendizagem, pois é necessário que os profissionais da educação passem por um processo de formação e capacitação, para que possam aprender realmente a utilizar os recursos de TA a favor do ensino de alunos com deficiência.

Rodrigues and Sobral (2012) falam da importância dos professores conhecerem a complexidade dos diferentes tipos de deficiência, de modo a realizarem um planejamento pedagógico com seleção adequada dos recursos e equipamentos didáticos para uma proposta de ensino que viabilize a participação do aluno com deficiência nas diferentes práticas escolares.

2.5 Braillestick

O *Braillestick*, desenvolvido por Santana (2021), é um dispositivo de entrada para computadores, com procedimento de escrita semelhante ao da máquina Braille, que oferece uma tecnologia assistiva de baixo custo que favorece a inclusão de pessoas com deficiência visual.

A parte eletrônica do dispositivo foi construída com a utilização da plataforma de prototipagem do Arduino UNO que, nesse projeto, se responsabiliza por receber os sinais digitais dos botões acionados pelo usuário do *Braillestick* e enviar um código para o computador de acordo com os botões que foram pressionados. Para evitar erros devido à dificuldade de apertar todos os botões no exato momento e também evitar o envio repetido de caracteres, o autor optou por realizar o envio do código

quando o Arduino detecta uma transição de nível lógico 1 para o nível lógico 0, indicando o momento em que o usuário solta os botões.

A comunicação do Arduino com o computador é feita através de uma porta USB. O computador recebe o código enviado pelo Arduino através de um *driver* programado em Python que, ao receber o código, identifica qual a letra ou ação (apagar ou espaçar) é representada por este código e realiza o procedimento de escrita em qualquer software que permita a criação de textos. No caso da pesquisa em questão, foram utilizados como saídas os *softwares* desenvolvidos pelo autor, respectivamente *Braillelearning* e *The Braille Typist*, de modo a permiti-lo realizar avaliações de usabilidade.

A Figura 2.6 mostra na 1^a imagem o protótipo de teclado desenvolvido com as posições das teclas e um usuário com as mãos posicionadas sobre o dispositivo, além do detalhe da ligação via cabo USB e, na imagem 2, a utilização do Arduino Uno como plataforma base da prototipação do circuito eletrônico.

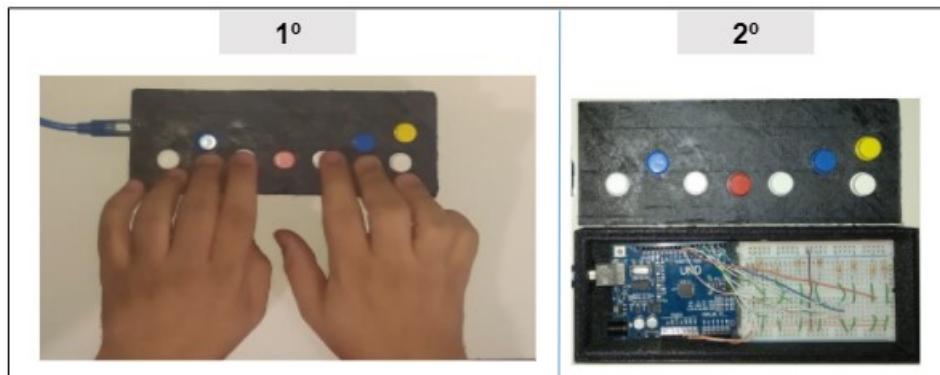


Figura 2.6: Montagem do Protótipo do *Braillestick* com Arduino Uno - Fonte: Adaptado de Santana (2021).

Alguns requisitos foram considerados importantes no desenvolvimento do *Braillestick* (Santana, 2021):

1. O processo de escrita/entrada precisaria ser semelhante ao da máquina Braille;
2. Deveria ser fácil de transportar (tamanho e peso);
3. Deveria ser facilmente replicado;
4. Precisaria ser uma solução de baixo custo.

Para atender a esses requisitos e a princípios da metodologia centrada no usuário – *Design Thinking* – utilizados no projeto, foram prototipados 2 tipos de teclados com formatos semelhantes, porém com posicionamentos diferentes dos botões, sendo um deles mais semelhante às máquinas de escrever em Braille mais comuns, com o uso sobre uma superfície, e a outra com uma forma de uso semelhante ao de um *smartphone* para ser segurado com as duas mãos.

Os dois protótipos idealizados são mostrados na Figura 2.7 com os botões responsáveis pelo procedimento de escrita numerados de 1 a 6, o botão A para apagar e o

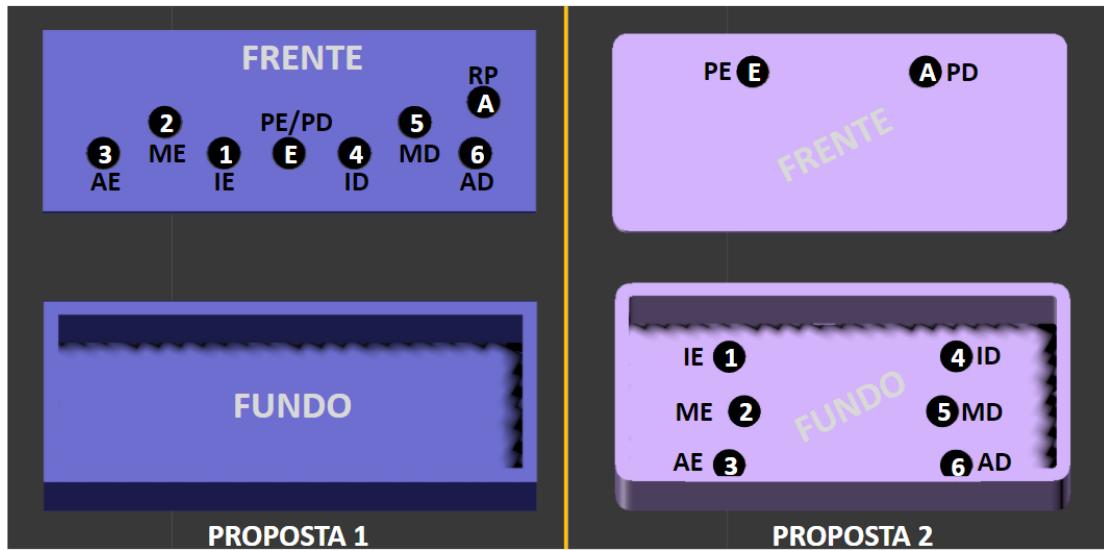


Figura 2.7: Protótipos Iniciais do *Braillestick* - Fonte: Santana (2021).

botão com a letra E para dar espaço. Além de mostrar as posições dos botões nos protótipos, a imagem também mostra o posicionamento ideal dos dedos em cada uma das propostas, com a indicação da primeira letra do dedo que será utilizado (P = Polegar, I = Indicador, M = Médio e A = Anelar), seguida pela letra da mão (E = Esquerda e D = Direita).

Após as avaliações de usabilidade e experiência do usuário, um dos principais problemas relatados pelos usuários foram os botões utilizados, pelo fato de serem muito duros para pressionar, o que poderia gerar cansaço durante a escrita de longos textos. Sugeriram, neste sentido, botões que fossem mais facilmente pressionados. Ainda assim, consideraram a solução uma oportunidade de utilizar este dispositivo como entrada Braille semelhante à máquina de escrever, só que com dimensões e peso menores que facilitam a mobilidade e a experiência da escrita em Braille.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

Esse Capítulo apresenta trabalhos que pesquisaram formas de desenvolver equipamentos eletrônicos similares à máquina de escrever em Braille, ou que utilizaram técnicas para impressão em Braille. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas com a utilização da seguinte *string* de busca com termos em inglês e português: (braille OR braile) AND (máquina OR machine OR typing OR typewriter OR brailleur OR embosser OR impressora OR printer) AND (“baixo custo” OR “low cost”) com especificação do período a partir do ano 2000, tendo em vista que períodos recentes mais curtos produziram poucos resultados. As pesquisas foram realizadas nas seguintes plataformas:

- IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org/>)
- Scielo (<https://scielo.org/>)
- ACM Digital Library (<https://acm.org/>)
- Periódicos Capes (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>)
- Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/>)

Dentre os trabalhos selecionados, apenas um de fato mencionou o objetivo de desenvolver o projeto conceitual de uma máquina de escrever em Braille de baixo custo, que foi o de Moore and Murray (2001), porém não chegou a materializar o dispositivo. Não foi possível localizar trabalhos mais recentes que tenham proposto o desenvolvimento de uma máquina completa de escrever em Braille, de baixo custo. Foram localizadas somente pesquisas que se propuseram a desenvolver partes separadas como os trabalhos de Ouellette (2011), Suzukawa (2010), Apurva et al. (2017) e Fernandes et al. (2016) que propuseram dispositivos para impressão em Braille e os trabalhos de (Santana, 2021), descrito na Seção 2.5, e de Zeineddine et al. (2020), que desenvolveram dispositivos de entrada baseados nas teclas da máquina de escrever em Braille.

Na pesquisa de Moore and Murray (2001), os autores propuseram o design conceitual de toda a estrutura da máquina de escrever em Braille utilizando 10 teclas,

um microcontrolador PIC 16F877 responsável por receber o sinal das teclas pressionadas, um *buffer* de caracteres digitados, e o controle dos 3 motores de passo e do solenoide presentes na estrutura. Um motor é responsável pelo movimento do papel; o outro, pelo movimento da cabeça de impressão sob a linha, e o terceiro por codificar as 8 posições possíveis de pontos de uma coluna da Cela Braille, através de um eixo no qual cada uma dessas posições contém saliências (ou ausência dessas) para codificação dos pontos a serem pressionados no papel. O solenoide é responsável por pressionar o papel sobre os pinos da posição codificada. Para formação de cada caractere Braille, são necessários dois ciclos de codificação e prensa.

A Figura 3.1 mostra: a) as posições possíveis do cilindro de marcação dos pontos de uma coluna da Cela Braille; e b) o projeto da impressora com suas respectivas peças, tais com o cilindro da ferramenta de marcação (*embossing tool*) e o solenoide responsável por pressionar o papel sobre a referida ferramenta de marcação.

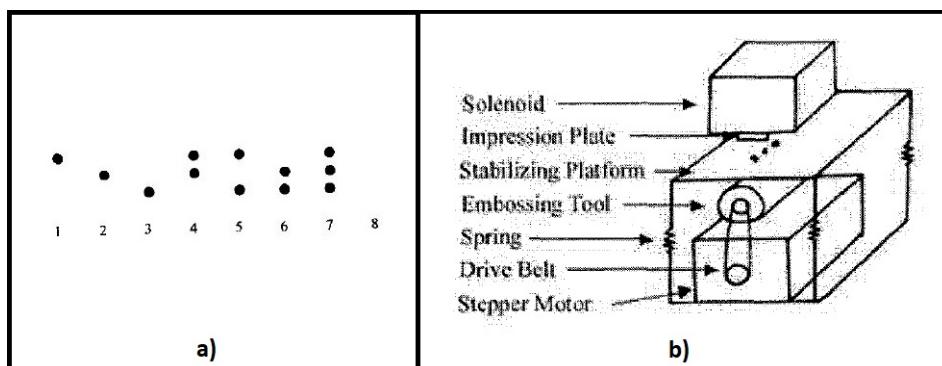


Figura 3.1: Projeto de máquina de escrever de baixo custo. **a)** Posições possíveis do cilindro de marcação dos pontos de uma coluna da Cela Braille e **b)** projeto da impressora com as peças descritas - Fonte: Adaptado de Moore and Murray (2001).

O trabalho de Ouellette (2011) propôs apenas o sistema de impressão dos pontos da Cela Braille e não de toda a máquina Braille. Na versão final da proposta, o pesquisador demonstra uma forma de codificação dos pontos da Cela Braille diretamente pelo acionamento das teclas (Figura 3.2). No entanto, o trabalho desenvolvido utiliza uma solução mecânica, se distanciando nesse ponto do objetivo deste projeto de pesquisa que pretende uma solução eletrônica através da utilização de um microcontrolador programável.

Os demais trabalhos selecionados se propuseram a desenvolver apenas o sistema de impressão em Braille de textos provindos do computador. Suzukawa (2010) propôs um mecanismo construído com a utilização de uma impressora matricial Epson LQ-500 como estrutura base e utilizando um microcontrolador Arduino Mega 2560, quatro CIs (circuitos integrados) L298 para auxiliar o controle dos motores de passo responsáveis pela movimentação do rolete do papel e da cabeça de impressão. Para a marcação dos pontos Braille, foram utilizados 6 solenoides com agulhas, um para cada ponto da Cela Braille.

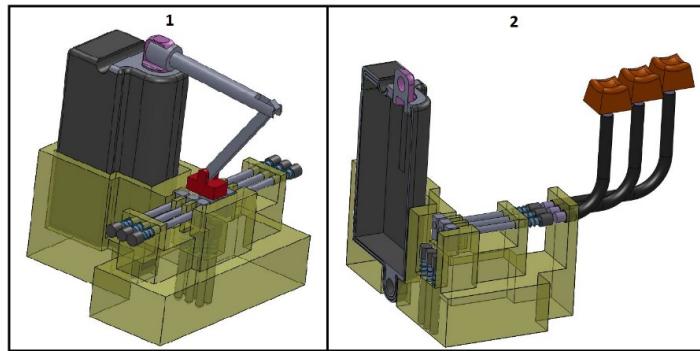


Figura 3.2: Sistema de impressão Braille com utilização de codificação mecânica e prensa por solenoide - Fonte: Adaptado de Ouellette (2011).

Outro trabalho que se propôs a desenvolver o protótipo de uma impressora Braille foi o de Apurva et al. (2017), que utilizou microcontroladores Atmel ATMega 328p para controlar 3 servomotores e 2 motores de passo do equipamento. Os 3 servomotores foram utilizados para a cabeça de impressão, sendo que cada um deles ficou responsável por marcar 2 pontos da Cela Braille ao girar no sentido horário e anti-horário. Os motores de passo, por sua vez, seriam utilizados um para movimentar o papel e outro para movimentar a cabeça de impressão, porém não ficou claro no trabalho como seria a estrutura sobre a qual esses motores iriam trabalhar para realizar as movimentações descritas. Segundo os autores, o projeto foi capaz de imprimir uma linha de 24 caracteres em aproximadamente 25 a 30 segundos, dependendo dos caracteres empregados.

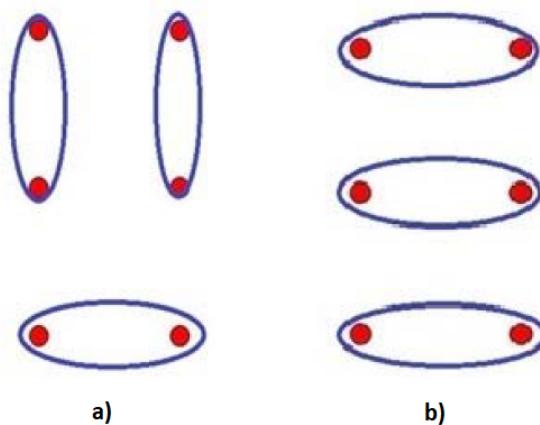


Figura 3.3: Opções de Alinhamento dos servos motores para marcação dos pontos da Cela Braille - Fonte: Adaptado de Apurva et al. (2017).

A pesquisa de Fernandes et al. (2016) apresenta o projeto de uma impressora Braille de baixo custo que utilizou a carcaça de uma impressora do tipo jato de tinta da empresa HP, modelo *Deskjet 610C*, como estrutura de base sobre a qual foram realizadas alterações, principalmente no sistema de impressão, para substituir os cartuchos de tinta por um cabeçote de impressão (Figura 3.4).

O sistema de impressão foi materializado com a utilização de 3 servomotores PWM (*Pulse Width Modulation* - Modulação por Largura de Pulso) que permitiram a rea-lização dos movimentos das agulhas de aço inoxidável, de modo a marcarem o relevo dos pontos no papel. Cada servomotor ficou responsável pela marcação de 1 ponto da Cela Braille. Dessa forma, para cada posicionamento do cabeçote de impres-são eram marcados 3 pontos no papel, sendo necessário portanto 2 posicionamentos sobre o papel para conseguir registrar 1 caractere Braille.



Figura 3.4: Protótipo de impressora Braille sobre estrutura de impressora HP Desk-jet 610C com modificação do sistema de impressão - Fonte: Fernandes et al. (2016).

O controle dos componentes do protótipo foi realizado com a utilização do kit de desenvolvimento MCB2130 da Philips que conta com um ARM LPC2138. A Figura 3.5 mostra a imagem do cabeçote de impressão projetado, com o detalhe dos 3 servomotores utilizados guiando as 3 agulhas responsáveis por realizar a marcação dos pontos do Braille.

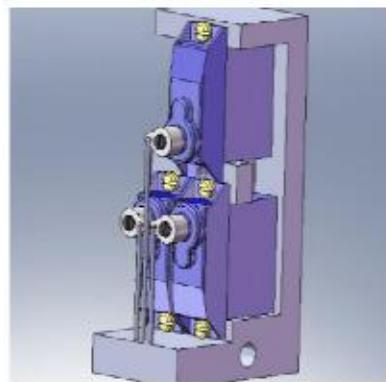


Figura 3.5: Modelo do cabeçote de impressão utilizando 3 servomotores PWM - Fonte: Fernandes et al. (2016).

Segundo os autores do trabalho, o tempo para a impressão de um caractere foi de 3 segundos, tempo necessário para deslocar o cabeçote de impressão, acionar os servomotores para imprimir a primeira coluna, deslocar novamente o cabeçote e acionar os servomotores para imprimir a segunda coluna. Considerando uma linha

formada por 40 caracteres, o sistema desenvolvido demoraria 120 segundos, ou seja, dois minutos para imprimir cada linha de caracteres.

Outro projeto identificado foi o *La Picoreuse - Cheap Braille Embosser (Laser Cut)* (Durand, 2018), uma impressora Braille de código aberto que permite ser reproduzida, tendo sido publicada sobre a licença MIT. A estrutura da impressora foi confeccionada com a utilização de técnica de corte de MDF a laser (Figura 5.16), cujas especificações foram publicadas, juntamente com as instruções de corte a laser e montagem do dispositivo.

O projeto utiliza o Arduino Uno como placa central de processamento e controle, com auxílio do *Motor Shield L293D*, das demais peças eletromecânicas do dispositivo, como 2 motores de passo, sendo um para a movimentação da cabeça de impressão e outro para a movimentação do papel, e um solenoide eletromagnético responsável pela marcação dos pontos da Cela Braille. Todas as peças elencadas podem ser consideradas de baixo custo e de fácil aquisição, o que torna o projeto possível de ser replicado, seguindo as instruções publicadas.

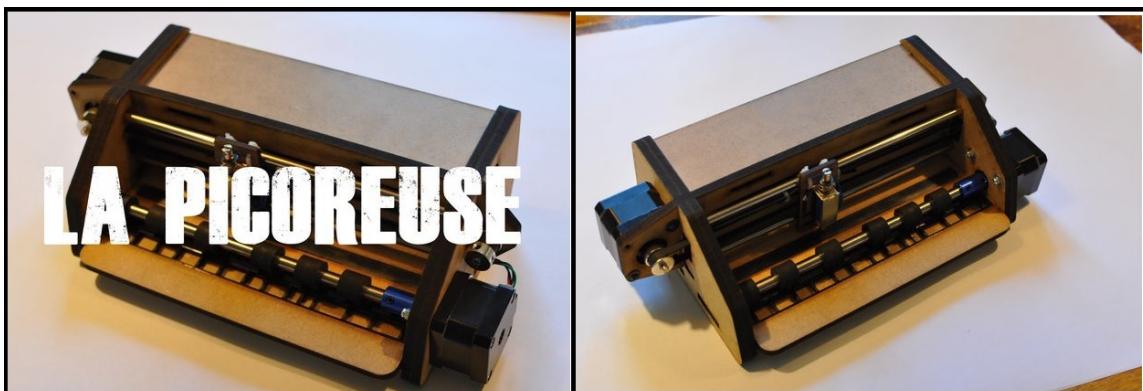


Figura 3.6: *La Picoreuse - Cheap Braille Embosser* - Fonte: Durand (2018).

Conforme Alves et al. (2023) explicam, a cabeça de impressão da *La Picoreuse* marca apenas 1 ponto da Cela Braille por vez, fazendo com que a ferramenta precise realizar até 6 ciclos para concluir a marcação de apenas 1 Cela Braille. Um trabalho similar à proposta do *La Picoreuse* foi publicado posteriormente por Ismail et al. (2020), com a diferença de utilizar acrílico cortado à laser na estrutura da impressora. Todas as outras características são semelhantes às da *La Picoreuse*.

Dentre os trabalhos pesquisados, o que mais se aproxima do Litera Braille é o de Moore and Murray (2001), que propuseram o *design* conceitual de uma máquina de escrever em Braille de baixo custo, mas que tem como pontos divergentes a técnica para marcação dos pontos, por utilizar codificação com cilindro de 8 posições de combinações possíveis e um solenoide que pressiona o papel sobre os pontos do cilindro, enquanto o Litera Braille propõe a marcação com a pressão exercida pela rotação do eixo dos servomotores que, ao movimentar as hastas, as pressiona sobre o papel. Além disso, o projeto do Litera Braille materializou o dispositivo, o que não foi realizado pelos pesquisadores mencionados.

Na sequência dos trabalhos que mais se assemelham e que serviram de referência para o desenvolvimento do Litera Braille, encontra-se o da *La Picoreuse* que propôs uma impressora Braille com estrutura base em MDF cortado a laser e cuja impressão dos caracteres Braille é realizado por um solenoide, marcando ponto a ponto, controlado por um Arduino Uno. Existe grande semelhança estrutural entre os projetos, principalmente levando em conta que a estrutura do Litera Braille está sendo inspirada na estrutura da *La Picoreuse* com a utilização de MDF cortado a laser e utilização de motores de passo para a movimentação do papel e da cabeça de impressão sobre este. A principal diferença do dispositivo proposto no projeto da *La Picoreuse* em relação ao Litera Braille reside no fato de ser apenas um dispositivo de impressão (dispositivo de saída) enquanto o Litera Braille está sendo desenvolvido para ter tanto a funcionalidade de digitação dos caracteres (interface de entrada) quanto a marcação destes no papel (interface de saída). Outra diferença é que na *La Picoreuse* os pontos são marcados um a um com a utilização de um único solenoide enquanto no Litera Braille são utilizados 3 servomotores para marcarem, cada um, dois pontos da Cela Braille, o que permite a marcação até dos 6 pontos de uma cela Braille sem a necessidade de reposicionar a cabeça de impressão.

Outro trabalho que se aproxima e serviu de referência foi o de Fernandes et al. (2016), que propuseram uma impressora com a reutilização da sucata de uma impressora jato de tinta e com o desenvolvimento de cabeça de impressão a partir da utilização de 3 servomotores no qual cada um é responsável pela marcação de 1 ponto de uma colunas da Cela Braille, sendo necessárias 2 sequências de marcação para realizar a marcação completa de um caractere em Braille. Esse foi outro projeto cuja principal diferença em relação ao Litera Braille reside no fato de ser apenas um dispositivo de impressão enquanto o Litera Braille foi desenvolvido para ter tanto a funcionalidade de digitação dos caracteres quanto a marcação destes no papel. Outra diferença está na utilização pelo Litera Braille dos 3 servomotores para marcarem, cada um, dois pontos da Cela Braille, enquanto na proposta de Fernandes et al. (2016), cada servomotor marca apenas 1 ponto, necessitando de até 2 posicionamentos da cabeça de impressão para concluir a marcação de uma Cela Braille.

E, por fim, o de Apurva et al. (2017), com a proposta de criação de uma impressora com cabeça de impressão utilizando 3 servomotores, sendo cada servomotor responsável pela marcação de 2 pontos Braille. Assim como em relação ao trabalho anterior, a principal diferença em relação ao Litera Braille está em ser um dispositivo apenas para a impressão em Braille. Um ponto forte de similaridade está na utilização de 3 servomotores com cada um responsável pela marcação de 2 pontos, tendo inclusive inspirado o posicionamento dos servomotores do Litera Braille. Esse trabalho, porém, não foi considerado mais similar do que o de Fernandes et al. (2016) por não ter sido possível identificar a estrutura utilizada para o controle da folha de papel ou do posicionamento da cabeça de impressão sobre aquela, enquanto o Litera Braille, assim como o dispositivo proposto por Fernandes et al. (2016), utilizam uma impressora como estrutura.

Capítulo 4

Metodologia

O presente trabalho realizou uma Pesquisa-ação de natureza Exploratória e de abordagem Mista, incluindo, dessa forma, aspectos das abordagens qualitativa e quantitativa (Creswell and Creswell, 2010). A abordagem qualitativa foi aplicada com o objetivo de avaliar, junto aos participantes da pesquisa e com a utilização de perguntas abertas, quais foram as suas percepções com a utilização do Litera Braille e se o referido dispositivo conseguiu ser utilizado adequadamente e apresentou funcionalidades semelhantes às das máquinas de escrever em Braille comerciais, como a máquina Perkins. A abordagem quantitativa foi empregada para a análise dos resultados das respostas obtidas nos questionários de Perfil, Usabilidade e Experiência do Usuário, aplicados aos participantes da pesquisa.

A Pesquisa-ação, segundo de Freitas Silva et al. (2021), é um tipo de pesquisa que trabalha com uma ação visando a resolução de um problema, sendo a metodologia que, além de compreender, objetiva intervir na situação, com o intuito de modificá-la. Nesse mesmo sentido, Thiolent (2011) assevera que a Pesquisa-ação é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo.

Pesquisas do tipo Exploratória têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Esse tipo de pesquisa pode ser realizado, por exemplo, através de entrevistas com pessoas que passaram por vivência prática com o assunto ou instrumento do estudo (Gil, 2002). Nesse sentido, este trabalho buscou explorar o uso de um dispositivo de TA, para a escrita e a leitura Braille, com semelhanças com a máquina Braille, com pessoas com deficiência visual, avaliando seu funcionamento, usabilidade, fragilidades e potencialidades.

4.1 A Pesquisa-ação

O método experimental da pesquisa-ação foi empregado neste trabalho no sentido de compreender a importância do uso do Braille e de seus instrumentos pelas pessoas

com deficiência visual (pesquisa) e intervir na situação problema (ação), contribuindo com as reflexões a respeito da desbraillização e propondo o desenvolvimento de um instrumento/dispositivo para o uso, a escrita e a leitura Braille. A materialização do dispositivo Litera Braille constitui, portanto, uma das ações dessa pesquisa-ação, além de outras detalhadas nas subseções seguintes.

4.1.1 Cenário

A pesquisa foi realizada com pessoas com deficiência visual que frequentam atividades do Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual (CAP-DV) da Associação Jonathas Telles Carvalho. A instituição está localizada à avenida Eduardo Fróes da Mota, número 5, no bairro Santa Mônica da cidade de Feira de Santana – Bahia. O CAP-DV oferece apoio nos processos pedagógicos especialmente voltados à capacitação necessária para o público com deficiência visual de modo a contribuir com a independência na aprendizagem. Segundo informação publicada pelo CAP-DV (2010), os programas e projetos ofertados pela instituição promovem estimulações sensório-motora e visual, além de pré-alfabetização e alfabetização em Braille.

4.1.2 Participantes

Os participantes da pesquisa são pessoas que frequentam o CAP-DV de Feira de Santana, selecionados em função dos seguintes critérios de inclusão:

- Participante com deficiência visual;
- Participante com experiência no uso da máquina de escrever Braille, visto que um dos objetivos do Litera Braille é ter funcionalidades semelhantes às da referida máquina.

Participaram do processo de avaliação (qualitativa e quantitativa) do Litera Braille 10 participantes que frequentam o CAP-DV. A utilização do dispositivo, a aplicação dos instrumentos de pesquisa e a observação aconteceram nas instalações do CAP-DV, em dias e horários pré-agendados com os participantes.

4.2 Passos Metodológicos Adotados

Nesta Seção são apresentados os passos metodológicos adotados nesta pesquisa, relacionados abaixo com uma breve descrição. Está sendo utilizada a padronização da sigla PM, referente a Passo Metodológico, seguida de um número (por exemplo, PM1 referente ao Passo Metodológico 1) que não representa necessariamente uma ordem de execução, mas apenas uma organização de apresentação dos mesmos. A Figura 4.1 apresenta a sequência na execução dos passos metodológicos que são descritos a seguir, demonstrando, no entanto, que os passos 4 (criação e/ou seleção dos instrumentos de coleta de dados da pesquisa) e 5 (submissão ao conselho de ética) foram executados em paralelo aos passos 6 (desenvolvimento do Litera Braille) e 7 (avaliação do funcionamento do dispositivo).

- **PM1 - Fundamentação Teórica** - Levantamento bibliográfico necessário para a aproximação com os conceitos relacionados à temática central desta pesquisa, tais como instrumentos para a escrita e a leitura em Braille, pessoas com deficiência visual, trabalhos correlatos, assim como as tecnologias de desenvolvimento e os instrumentos para a coleta de dados;
- **PM2 - Entrevista não estruturada realizada com Profissional de TI com DV** - foi realizada inicialmente uma entrevista não estruturada com um participante cego e profissional de informática, especialista em desenvolvimento e testes de plataformas web acessíveis às pessoas com DV. Essa primeira entrevista foi peça fundamental para a definição do tema deste projeto de pesquisa;
- **PM3 - Visita à Fundação CAP-DV** - foi realizada uma visita inicial ao Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual (CAP-DV) da Associação Jonathas Telles Carvalho, em Feira de Santana/BA, de modo a se ter o primeiro contato com a instituição para a apresentação da pesquisa e de seus objetivos, e também com alguns dos possíveis futuros participantes da pesquisa. Esse também foi o momento para compreender, com ajuda de professores da instituição, a importância do uso da máquina de escrever em Braille no dia a dia da instituição para a formação das pessoas com DV;
- **PM4 - Criação e/ou seleção dos instrumentos de coleta de dados da pesquisa** (Seção 4.3 - foram criados ou selecionados os questionários e/ou instrumentos de avaliação que atendessem aos propósitos da pesquisa. São eles: (a) Questionário de Perfil do Usuário (Apêndice E); (b) Questionário de Usabilidade baseado no AUS (*Accessible Usability Scale*⁴) (Apêndice G); (c) UEQ-S, instrumento validado para avaliação da Experiência do Usuário (versão curta do UEQ - *User Experience Questionare*⁵) (Apêndice F) e (d) Entrevista semiestruturada para uma avaliação aberta sobre as percepções do usuário em relação ao dispositivo (Apêndice H);
- **PM5 - Submissão do projeto de pesquisa ao Conselho de Ética** - Como esta pesquisa envolve a participação de seres humanos, a mesma foi precedida da etapa de submissão e aprovação do projeto ao Comitê de Ética, para posterior realização dos experimentos;
- **PM6 - Desenvolvimento do dispositivo proposto seguindo pressupostos do *Design Thinking* e escolha do seu nome;**
- **PM7 - Avaliação do funcionamento geral na primeira versão funcional do dispositivo** - foram realizados testes funcionais com a primeira versão funcional do dispositivo desenvolvido, com as principais funcionalidades planejadas já em funcionamento;
- **PM8 - Apresentação do dispositivo para realização de teste piloto por um participante com DV com coleta de *feedback* para realização de melhorias** - a

⁴<https://makeitfable.com/accessible-usability-scale/>

⁵<https://www.ueq-online.org/>

primeira versão funcional foi submetida a teste livre e avaliação por uma pessoa com DV, participante voluntário para esta etapa da pesquisa. O participante ofereceu *feedback* informando quais as funcionalidades que estavam boas, assim como as que precisavam ser melhoradas e indicou novas funcionalidades que considerou importantes;

- **PM9 - Desenvolvimento das melhorias identificadas após o teste piloto** - As melhorias sugeridas pelo participante, após a realização do teste na primeira versão funcional do Litera Braille, foram implementadas, a partir dos recursos e tempo disponíveis;
- **PM10 - Avaliação de custo do dispositivo** - foi levantado o custo do conjunto de componentes utilizados para desenvolvimento do dispositivo;
- **PM11 - Avaliação funcional e de velocidade com a versão atual do dispositivo** - foram realizados, pelo pesquisador, testes funcionais com a versão atual do Litera Braille que permitiram verificar o funcionamento geral do dispositivo, de todas as funcionalidades, além de análises de velocidade de tempo médio para escrever caracteres com e sem salto de linha e tempo médio para realizar a operação de saltar linha;
- **PM12 - Apresentação para os participantes do roteiro proposto para o momento de teste do dispositivo e aplicação dos instrumentos de coleta de dados** - foi planejado um roteiro com os passos que deveriam ser seguidos no momento da realização dos testes com os participantes. Esse roteiro, assim como os instrumentos que seriam utilizados para avaliação do dispositivo, foram apresentados aos participantes antes de sua aplicação;
- **PM13 - Aplicação do Questionário de Perfil dos Usuários** - o questionário de perfil foi criado e aplicado para levantar dados demográficas, de modo a coletar informações que auxiliassem a conhecer um pouco mais sobre os participantes, com perguntas relacionadas à deficiência e a relação dos mesmos com o Braille e com a máquina de escrever em Braille (Apêndice E);
- **PM14 - Apresentação do Litera Braille para análise e utilização pelos participantes** - o dispositivo Litera Braille foi apresentado aos participantes, oferecendo um tempo médio de 10 a 15 minutos para que pudessem analisar livremente o dispositivo e fazer perguntas do que estavam percebendo através do tato. Após esse primeiro contato livre, o pesquisador explicaria as funcionalidades e funcionamento que, por ventura, os participantes não tivessem percebido ou perguntado no decorrer de sua verificação livre. Após essa familiarização com o equipamento, os participantes foram convidados a escrever um texto específico em tempo livre para que pudessem realizar análises das funcionalidades do Litera Braille de forma mais direcionada;
- **PM15 - Observação do contato dos participantes com o dispositivo pelo pesquisador** - neste momento, o pesquisador pôde observar o uso do Litera Braille pelos participantes, primeiras impressões, percepções e falas espontâneas;

- **PM16 - Aplicação dos Questionários para as avaliações de Usabilidade e de Experiência do Usuário (EU)** - após o contato livre dos participantes com o Litera Braille e da realização dos testes de escrita, foram aplicados os questionários para as avaliações de Usabilidade (Apêndice G) e de Experiência do Usuário (Apêndice F);
- **PM17 - Análise Qualitativa e Quantitativa dos dados dos instrumentos aplicados e escrita dos resultados;**

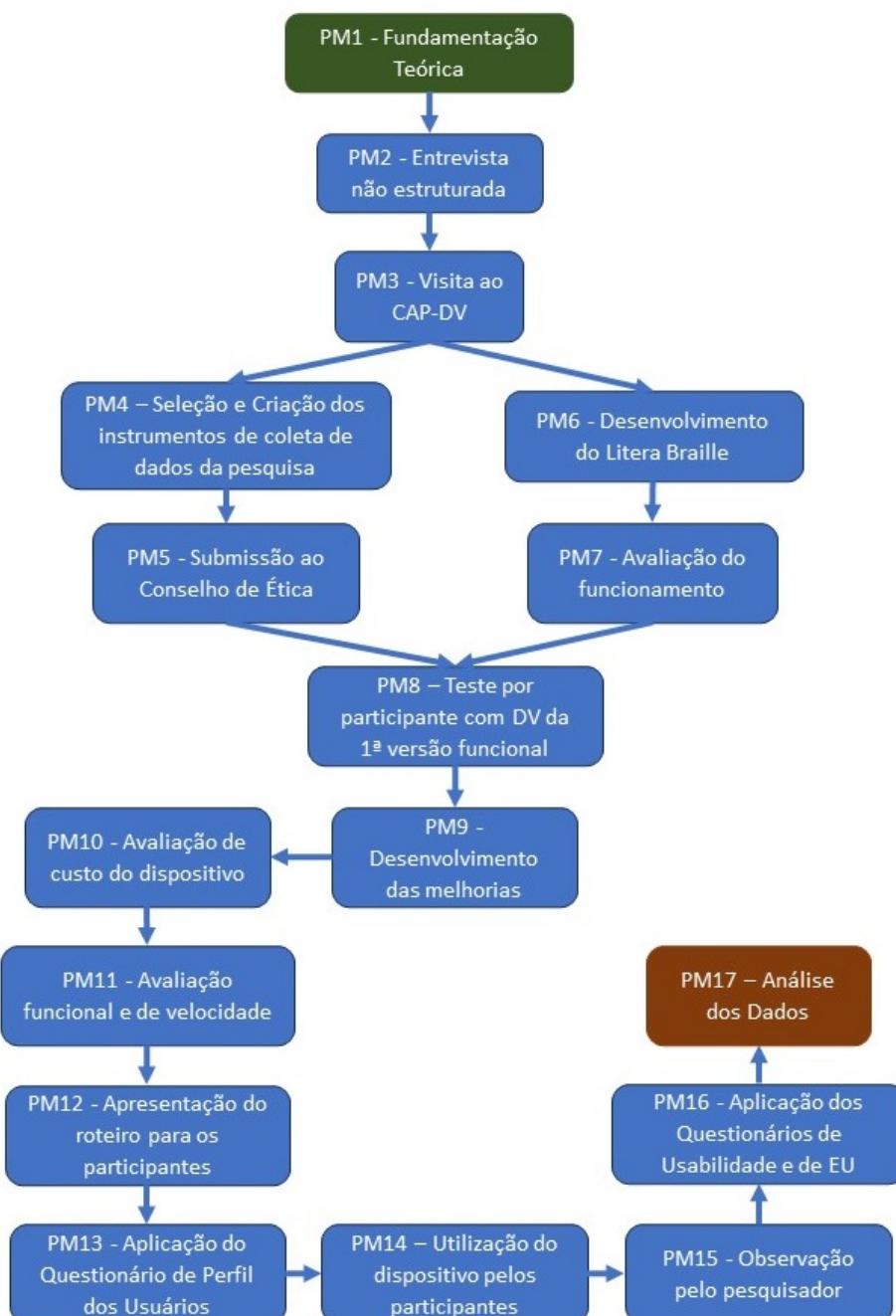


Figura 4.1: Processo Metodológico do Projeto de Pesquisa.

Alguns dos passos metodológicos apresentados são mais detalhados nas seções seguintes e outros detalhes referentes aos resultados são apresentados no Capítulo 5.

4.3 Instrumentos de coleta de dados da pesquisa

Esta Seção apresenta os instrumentos de pesquisa selecionados ou criados para realização da coleta de dados, referentes à avaliação do Litera Braille por parte dos participantes da pesquisa.

4.3.1 Questionário de Perfil dos Participantes

Para conhecer um pouco mais sobre os participantes, foi desenvolvido um questionário de perfil (Apêndice E) baseado no questionário utilizado no trabalho de Santana (2021), com perguntas referentes a dados demográficos gerais como faixa etária e gênero, além de perguntas relacionadas à deficiência e a relação dos mesmos com o Braille e a máquina de escrever em Braille. O questionário foi desenvolvido com 17 itens, sendo 2 questões objetivas sobre o perfil demográfico, 3 questões objetivas sobre a deficiência, 5 questões (2 abertas e 3 objetivas) sobre a vivência com o Braille e 7 questões (3 abertas e 4 objetivas) sobre a vivência com a Máquina de escrever em Braille.

O questionário de perfil, entre outras análises importantes, permite sobretudo avaliar a heterogeneidade existente entre os participantes da pesquisa de modo a possibilitar um resultado mais diverso e amplo. Segundo Santana (2021, p. 60), a diversidade entre os participantes “é importante, pois permite que a ferramenta seja avaliada por diferentes pessoas em momentos distintos de suas vidas, o que impacta, em certa medida, no conhecimento do Braille e em sua experiência no uso do dispositivo”.

4.3.2 Instrumentos de Avaliação de Usabilidade e de Experiência do Usuário

Para a Avaliação de Usabilidade do Litera Braille, foram pesquisados instrumentos que se adequassem à peculiaridade de ser um dispositivo de Tecnologia Assistiva voltado para pessoas com deficiência ou, preferencialmente, para pessoas com DV. Foram realizadas pesquisas com palavras chave tanto em português quanto em inglês que levassem à identificação de trabalhos científicos que propusessem dispositivos de TA, com a realização de avaliações de Usabilidade e/ou de Experiência do Usuário. As seguintes *strings* de busca foram utilizadas:

(Tactile OR tátil OR táteis OR Háp tico OR Haptic OR hardware OR Físico OR Dispositivo OR Device OR Equipamento OR Equipment OR Máquina OR Ma chine) AND (Avaliação OR Evaluation OR Evaluate OR Assessment OR Validação OR Validate OR Validation OR Measuring) AND (Usabilidade OR Usability OR Experiência OR Experience) AND (“Pessoa com deficiência” OR “Pessoas com deficiência” OR “disabled person” OR “disabled people” OR “visually impaired people”

OR “pessoas com deficiência visual” OR “visually impaired person” OR “pessoa com deficiência visual” OR Cego OR Blind).

As pesquisas foram realizadas nas seguintes plataformas:

- IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org/>)
- Scielo (<https://scielo.org/>)
- ACM Digital Library (<https://acm.org/>)
- Periódicos Capes (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>)
- Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/>)

Com a leitura dos artigos pré-selecionados e filtrados, chegou-se à seleção dos instrumentos de avaliação *User Experience Questionnaire Short Version*⁶ (UEQ-S) para a avaliação de Experiência do Usuário e *Assessibility Usability Scale*⁷ (AUS) para a avaliação de Usabilidade.

A versão Curta do Questionário de Experiência do Usuário (Apêndice F), *User Experience Questionnaire Short Version* (UEQ-S) (Schrepp et al., 2017), é um instrumento validado que foi utilizado para verificar a aceitabilidade do dispositivo em relação à experiência do usuário e que se utiliza de 3 medidas: qualidade pragmática e qualidade hedônica, que são sintetizadas em uma qualidade geral. A Qualidade Pragmática diz respeito à funcionalidade e utilidade do produto, enquanto a Qualidade Hedônica guarda relação com o bem estar e satisfação no uso do produto (Schrepp et al., 2017).

Na versão curta, o questionário possui 8 perguntas, em substituição às 26 perguntas do questionário original. Os quesitos apresentam características opostas de avaliação, com propriedades relacionadas a produtos (e.g. desagradável e agradável, desinteressante e atrativo), em uma escala Likert, que varia de 1 a 7 pontos. Os quesitos do instrumento são demonstrados na Figura 4.2.

Segundo Schrepp et al. (2017), na UEQ original metade das questões começa com um adjetivo positivo e a outra metade começa com o adjetivo negativo. Além disso, a ordem dos itens é aleatória no questionário, o que traz algumas desvantagens, pois a mudança de polaridade deve ser explicada na instrução e se torna cognitivamente mais complexo para os participantes.

Para simplificar a instrução e facilitar o preenchimento do questionário, optou-se por que todos os itens tenham a mesma polaridade. O lado esquerdo reflete o termo negativo e o lado direito o termo positivo. Além disso, a ordem não é aleatória: os primeiros 4 itens refletem a qualidade pragmática e os itens 5 a 8 a qualidade hedônica (Schrepp et al., 2017, p. 12).

⁶<https://www.ueq-online.org/>

⁷<https://makeitfable.com/accessible-usability-scale/>

Portuguese version		
Obstrutivo	○ ○ ○ ○ ○ ○	Condutor
Complicado	○ ○ ○ ○ ○ ○	Fácil
Ineficiente	○ ○ ○ ○ ○ ○	Eficiente
Confuso	○ ○ ○ ○ ○ ○	Evidente
Aborrecido	○ ○ ○ ○ ○ ○	Excitante
Desinteressante	○ ○ ○ ○ ○ ○	Interessante
Convencional	○ ○ ○ ○ ○ ○	Original
Comum	○ ○ ○ ○ ○ ○	Vanguardista

Figura 4.2: Itens da versão em português do UEQ-S. Fonte: Adaptado de Schrepp et al. (2017). Descrição alternativa da figura pode ser encontrada no Apêndice A

Diante da maior simplicidade da versão curta do UEQ em relação à quantidade de quesitos da versão original, optou-se pela sua aplicação para uma avaliação satisfatória da Experiência de Usuário. Essa escolha também foi influenciada pela quantidade de instrumentos de coleta (quatro, no total descritos na metodologia, além da própria interação necessária dos participantes com o dispositivo) utilizados no momento da realização das avaliações do dispositivo com os usuários da pesquisa, evitando tornar a aplicação mais longa e possivelmente cansativa.

A Escala de Usabilidade Acessível (Apêndice G) - *Assessibility Usability Scale* (AUS), por sua vez, foi utilizada para averiguar a usabilidade do dispositivo em termos de eficiência, efetividade e satisfação dos usuários. O AUS é um instrumento inspirado no SUS-*System Usability Scale* (Laugwitz et al., 2008) e que segue a mesma metodologia deste, porém com afirmações adaptadas (e que permitem novas adaptações) para medir a usabilidade de produtos de tecnologia assistiva.

O questionário foi desenvolvido com 10 afirmações avaliadas através de uma escala Likert, variando entre 1 (discordando totalmente com a afirmação) a 5 (concordando totalmente com a afirmação). Seguindo a metodologia do SUS, os itens do AUS apresentam, nas questões ímpares, afirmações que revelam características positivas sobre o dispositivo, enquanto as pares revelam características negativas.

As afirmações do AUS foram levemente adaptadas para o questionário aplicado aos participantes, de modo que fossem mais direcionadas ao dispositivo desenvolvido, como, por exemplo, no item 2 que traduzido afirma “Achei o sistema desnecessariamente complexo” e foi adaptado para “Achei o dispositivo desnecessariamente complexo”. A lista com todos os itens do questionário aplicado segue abaixo:

- Q1 - Eu gostaria de usar este dispositivo com frequência, quando precisasse, em minhas tarefas de estudo ou durante exercícios de prática do Braille.
- Q2 - Achei o dispositivo desnecessariamente complexo.

- Q3 - Achei o dispositivo fácil de usar.
- Q4 - Acho que precisaria do apoio de outra pessoa para utilizar todos os recursos deste dispositivo.
- Q5 - Achei que as funções do dispositivo faziam sentido e eram compatíveis com a finalidade do mesmo.
- Q6 - Achei que havia muita inconsistência no funcionamento deste dispositivo.
- Q7 - Imagino que a maioria das pessoas acostumadas a utilizar a máquina de escrever em Braille aprenderia a usar este dispositivo rapidamente.
- Q8 - Achei o dispositivo muito complicado ou difícil de usar.
- Q9 - Me senti muito confortável ao usar o dispositivo.
- Q10 - Eu precisava me familiarizar mais com o dispositivo antes de poder usá-lo de maneira eficaz.

Lewis and Sauro (2018) apontam que, após a coleta das avaliações, é necessário transformar as respostas para uma escala de 0 a 4 pontos. Tal valor é conseguido a partir do procedimento de subtração por 1 das avaliações obtidas nas afirmações dos itens ímpares e pela subtração de 5 pelo valor obtido nas avaliações das afirmações dos itens pares. Assim, para um item ímpar avaliado em 5, deve-se subtrair este valor por 1, resultando em uma pontuação 4. Entretanto para um item par avaliado, por exemplo, em 2, deve-se submetê-lo a uma operação de subtração com valor 5 no minuendo, resultando em uma pontuação 3. A pontuação final é alcançada pela soma de todos os itens de um determinado participante e, em seguida, pela multiplicação deste resultado por 2.5, alcançando um valor que pode variar de 0 a 100; em seguida, calcula-se a média a partir dos resultados de todos os participantes.

Esse instrumento foi selecionado entre os pesquisados, devido ao fato de ser um instrumento de avaliação de usabilidade especialmente voltado a produtos acessíveis de Tecnologia Assistiva.

4.3.3 Instrumento de Avaliação Aberta sobre as percepções do usuário em relação ao Litera Braille

Seguindo o exemplo do trabalho de , mesmo com a utilização dos instrumentos de pesquisa como o UEQ-S e o AUS, sentiu-se a necessidade de construção de um instrumento complementar para receber das participantes opiniões abertas sobre a utilidade, a acessibilidade e a usabilidade do Litera Braille e também em relação à peculiaridades específicas do dispositivo, tais como a legibilidade na marcação dos pontos do Braille e a velocidade de funcionamento do dispositivo, peculiaridades que não estavam contempladas nos instrumentos selecionados.

O instrumento criado (Apêndice H) possui 11 questões norteadoras para realização da entrevista com os participantes, sendo 8 questões abertas e 3 questões utilizando

uma escala Likert com pontuação entre 1 e 5, como, por exemplo, uma questão relacionada à percepção de velocidade do funcionamento do dispositivo cuja escala variou de 1 (Lento) à 5 (Boa velocidade). Para cada uma das questões que utilizam a escala Likert, foi relacionada uma questão aberta para receber a opinião livre sobre o tema específico, como no exemplo, em relação à velocidade.

4.4 Submissão do Projeto ao Comitê de Ética

Para a pesquisa, foram elaborados e submetidos ao Comitê de Ética da Universidade Estadual de Feira de Santana (CEP - UEFS) os documentos necessários para o aceite do projeto, tais como: brochura de pesquisa, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Apêndice B), Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE (C), declaração de autorização do lócus da pesquisa (D), declaração dos pesquisadores se comprometendo a realizar a pesquisa em conformidade às Resoluções CNS 466/2012 e CNS 510/16, cronograma de execução do trabalho e prováveis instrumentos de coleta.

Em primeira instância, o projeto já havia sido submetido e aprovado pelo CEP-UEFS, com a proposição da criação do *Braillestick*, que serviu de inspiração inicial para esta continuidade/ampliação. Em um segundo momento, foi submetida e também aprovada pelo Comitê a ampliação desta proposta, com a adição da perspectiva de saída em Braille, para além da entrada (Parecer nº 5.625.028).

4.5 Desenvolvimento do Litera Braille

No processo de desenvolvimento do Litera Braille está sendo utilizada a metodologia centrada no usuário *Design Thinking*, empregando-a de modo semelhante ao trabalho de Santana (2021), com suas 5 etapas: **Empatizar** visa possibilitar um melhor entendimento sobre o objeto de estudo, assim como sobre os usuários e como atender melhor às suas necessidades; **Definir** como a ferramenta foi desenvolvida com base nas necessidades do usuário; **Idealizar** como o dispositivo foi criado e como se da o funcionamento do mesmo; **Prototipar** o dispositivo para que o usuário possa opinar sobre possíveis melhorias; e **Avaliar** o dispositivo com base na experiência do usuário.

Para a primeira etapa, **Empatizar**, foi realizada inicialmente uma entrevista não estruturada com um participante cego e profissional de informática, especialista em desenvolvimento e testes de plataformas web acessíveis para pessoas com DV. A entrevista do tipo não estruturada é aquela na qual “o pesquisador determina o tema pedindo que o entrevistado relate a visão dele podendo introduzir outros tópicos de interesse ao longo da conversa” (Silva et al., 2006, p. 250).

Segundo o entrevistado e a bibliografia pesquisada, as tecnologias voltadas ao aprendizado do Braille e que principalmente permitam o treino da leitura tátil são consideradas muito importantes para o processo de desenvolvimento das pessoas com

DV. Essa primeira entrevista foi peça fundamental para a definição do tema deste projeto de pesquisa. A entrevista é um instrumento importante, na medida em que “fornece dados básicos para a compreensão das relações entre os atores sociais e o fenômeno” (Silva et al., 2006, p. 247).

Ainda como parte desse primeiro processo de empatizar, foi realizada visita inicial ao CAP-DV para se ter um primeiro contato com alguns possíveis futuros participantes da pesquisa, assim como para compreender, com ajuda de professores da instituição, a importância do uso da máquina de escrever em Braille no dia a dia da instituição. A Fundamentação Teórica também é parte essencial para entender mais sobre o problema.

A partir da realização destas atividades iniciais e do levantamento do referencial teórico, passou-se para as etapas de **Definir** e **Idealizar**, também do *Design Thinking*. Com a realização da entrevista inicial e da visita ao CAP-DV, foi possível **Definir** e delimitar melhor o tema e o dispositivo que seria desenvolvido. Ao final dessa etapa, definiu-se como proposta um dispositivo de baixo custo para entrada (digitação) a partir de teclas baseadas nas posições da máquina de escrever em Braille e saída (impressão/marcação) dos respectivos caracteres Braille em relevo no papel, com funcionalidades semelhantes às da referida máquina de escrever. O levantamento bibliográfico também foi de suma importância e permitiu, além de definir, **Idealizar** o dispositivo a ser desenvolvido ao se identificar, em trabalhos correlatos, técnicas que pudessem servir de inspiração ou mesmo serem empregadas para construção do Litera Braille.

A etapa seguinte do desenvolvimento baseado na metodologia centrada no usuário, **Prototipar**, foi iniciada com a confecção da cabeça de impressão, que passou por versões de baixa fidelidade até a de mais alta fidelidade, se aproximando do produto final, e em seguida com a modelagem e confecção do protótipo da máquina de escrever completa, que igualmente precisou passar por versões até alcançar o modelo mais apropriado ao projeto, sobretudo em relação ao intuito de desenvolver um dispositivo de baixo custo e que, de preferência, pudesse vir a ser reproduzido e alcançar os usuários interessados.

Foram realizados testes para verificação do funcionamento geral do Litera Braille no qual foi possível verificar: o recebimento da digitação das teclas e consequente processamento dos comandos pelo Arduino; a marcação dos pontos da Cela Braille pela cabeça de impressão; a movimentação desta sobre o papel; e a movimentação do papel para mudanças de linha.

Após essa primeira versão completamente funcional e com as funcionalidades básicas inicialmente idealizadas já implementadas e testadas pelo pesquisador, foi possível passar para a etapa **Avaliar**. Para tanto foi identificado um participante com DV voluntário para realizar os primeiros testes de usuário. Durante esse teste de usuário, o participante identificou e informou as funcionalidades que considerou que já estavam boas e as que precisavam melhorar, além de propor algumas funcionalidades que considerou importante e que não haviam sido idealizadas até a versão testada,

tais como um botão de retroceder para o retorno da cabeça de impressão para a posição anterior e um botão de apagar que desfizesse os pontos marcados em relevo no papel.

Após esse primeiro teste de usuário, e com base no *feedback* recolhido, foram realizadas melhorias nas funcionalidades existentes, sobretudo em relação a marcação dos pontos, e foram adicionadas novas funcionalidades conforme sugerido pelo participante. Em seguida, foram refeitos os testes funcionais pelo pesquisador, semelhantes aos realizados sobre a primeira versão funcional, e novas avaliações com participantes, como será visto nas seções seguintes.

4.6 Avaliação do Litera Braille

A realização da etapa de utilização do dispositivo pelos participantes para a avaliação de usabilidade e experiência do usuário foi realizada no próprio ambiente do CAP-DV com utilização do computador pessoal do entrevistador/pesquisador, além de outros recursos como formulários impressos.

Como mencionado anteriormente, a vivência prévia dos participantes em relação à utilização da máquina de escrever em Braille comercial foi um requisito considerado importante para a participação dos voluntários na pesquisa para que pudessem utilizar o Litera Braille adequadamente e, sobretudo, para que tivessem parâmetros adequados para a avaliação. A coordenação da instituição auxiliou na seleção dos participantes, de modo a atender os critérios de seleção de voluntários com DV com experiência no uso da máquina de escrever em Braille, conforme descrito na Subseção 4.1.2.

Foi planejado um roteiro com o descriptivo dos passos que seriam seguidos no momento dos testes e avaliações com os participantes e aplicação dos instrumentos de coleta. O roteiro elaborado segue resumidamente descrito abaixo:

- Já que todos os participantes eram maiores, eles foram apresentados ao TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido), com o apoio dos servidores do CAP-DV. Em sequência, assinaram esse documento, autorizando a coleta de dados durante a participação na pesquisa;
- Solicitada a permissão para gravar a voz e explicado sobre a manutenção do anonimato;
- Participação de pesquisador observador para acompanhar os momentos de avaliação do usuário;
- Aplicação do Questionário de Perfil do Participante apresentado na Subseção 4.3.1;
- Contato livre do participante com o dispositivo, atendimento ao Passo Metodológico 14 (Seção 4.2);

- Escrita em tempo livre do texto específico - os participantes foram apresentados a um texto curto específico, selecionado pelos pesquisadores, para que pudessem escrevê-lo com a utilização do Litera Braille e, na sequência, realizassem a leitura do texto escrito em Braille no papel. Esse procedimento permitiu que os participantes fizessem observações sobre o resultado do processo de escrita e utilização do dispositivo, principalmente em relação à utilização da interface de entrada (teclado) do mesmo, além da verificação das funcionalidades, tempo de resposta e qualidade da saída em Braille no papel;
- Aplicação dos Questionário de Usabilidade e de Experiência do Usuário apresentados na Subseção 4.3.2;
- Aplicação do Instrumento de Avaliação Aberta sobre as percepções do usuário em relação ao dispositivo que foi apresentado na Subseção 4.3.3;

Outros detalhes sobre a aplicação dos instrumentos de pesquisa e o levantamento de resultados, além das discussões suscitadas, são vistos no Capítulo seguinte.

4.7 Análise dos dados da pesquisa

Para a realização da análise dos dados quantitativos obtidos com a aplicação dos questionários foram empregadas técnicas da estatística descritiva, utilizando tabelas e gráficos de coluna, de barra e de setores, para sintetizar as informações, e gerando cálculos de média e desvio padrão para valores coletados durante a avaliação do Litera Braille.

Em relação aos instrumentos UEQ-S e AUS foram utilizados cálculos fornecidos na metodologia de cada instrumento e também geradas as tabelas e gráficos para melhor interpretação dos resultados. Para o UEQ-S, além da metodologia, os criadores do instrumento disponibilizaram uma ferramenta de análise de dados⁸ que auxilia na realização dos cálculos de resultado e geração de gráficos para a análise.

Para a realização da análise qualitativa dos dados está sendo empregado o método da análise de conteúdo. A análise de conteúdo, segundo Silva and Fossá (2015), é uma técnica de análise das comunicações que auxilia na análise do material das entrevistas, de forma a classificá-los em temas ou categorias que auxiliem na compreensão, não apenas do conteúdo das falas, mas também do que está por trás dos discursos.

Seguindo as 3 etapas propostas por Bradin (2011), sendo elas: 1) pré-análise; 2) exploração do material; e 3) tratamento e interpretação dos resultados, realizou-se a organização e análise dos dados qualitativos coletados durante as entrevistas com os participantes, tanto em relação às questões abertas do questionário de perfil, quanto na aplicação do instrumento de avaliação aberta do Litera Braille.

⁸https://www.ueq-online.org/Material/Short_UEQ_Data_Analysis_Tool.xlsx

Para a etapa de pré-análise, foram inicialmente propostas categorias temáticas que seriam observadas no conteúdo das entrevistas, relativas a temas resultantes dos objetivos da pesquisa e da fundamentação teórica, sendo elas: Acessibilidade; Tecnologia Assistiva; Braille; e Máquina de escrever em Braille. Esses temas inclusive contribuíram como balizadores para a confecção das questões norteadoras utilizadas durante as entrevistas. Ainda como parte da etapa de pré-análise, após a realização das entrevistas, foram realizadas as transcrições destas e preparação dos materiais que seriam utilizados na etapa seguinte de exploração do material. As transcrições foram realizadas utilizando-se a ferramenta Whisper da OpenAi⁹.

De posse da transcrição das entrevistas realizadas, passou-se para fase de exploração do material, momento no qual realizou-se uma primeira análise das falas dos participantes das entrevistas e, dessa forma, foi possível identificar categorias que emergiram do conteúdo analisado e que possibilitou revisar as categorias previamente relacionadas durante a pré-análise, alterando algumas e incluindo outras. As categorias selecionadas foram as que se mostraram apropriadas a reunir a maior quantidade de informações que pudessem promover uma análise de frequência dos temas constantes nas falas dos participantes. Para tanto, foram realizadas as separações das unidades de falas nas diversas categorias temáticas selecionadas.

Transcorrendo esta fase de exploração do material, seguiu-se para a fase de tratamento e interpretação dos resultados, na qual foi possível realizar inferências e interpretações que, segundo Câmara (2013), precisam ir além de observar o que foi dito pelos participantes, mas trazer à tona o sentido do que está por trás das falas destes. Para validar a interpretação, é preciso, em muitos aspectos, retomar a fundamentação teórica, de forma a trazer embasamento e dar sentido ao que está sendo refletido na análise dos dados e na discussão dos resultados (Câmara, 2013).

⁹<https://openai.com/research/whisper>

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Este Capítulo apresenta o processo de desenvolvimento e avaliação do Litera Braille a partir dos passos metodológicos descritos no Capítulo 4, seguindo-se as etapas do *Design Thinking*, além de apresentar os resultados da avaliação final do dispositivo por usuários com DV, assim como discutir e refletir sobre esses resultados. A divisão deste Capítulo foi planejada de forma a apresentar o percurso realizado durante as etapas do desenvolvimento e avaliação do dispositivo:

A Seção 5.1 apresenta a análise realizada sobre os dados de perfil dos participantes da pesquisa.

A Seção 5.2, “Desenvolvimento da primeira versão funcional do Litera Braille”, apresenta as etapas desse desenvolvimento: (a) projeto do dispositivo (com evolução durante o percurso); (b) projeto da cabeça de impressão (o desenvolvimento começa pela cabeça de impressão, pois a estrutura do dispositivo precisou ser projetada com base nas necessidades de acomodá-la); (c) desenvolvimento da estrutura do dispositivo; (d) desenvolvimento do esquema eletrônico; e (d) realização de testes sobre a primeira versão funcional pelo pesquisador e por um participante com DV.

Na Seção 5.3, “Desenvolvimento da versão atual do Litera Braille”, é apresentado o processo para evolução do dispositivo a partir das sugestões da primeira avaliação: (a) alterações na cabeça de impressão; (b) alterações na estrutura do dispositivo; e (c) realização das alterações no esquema eletrônico do dispositivo.

A Seção 5.4 esclarece sobre o desenvolvimento do código para a placa microcontroladora Arduino Mega 2560, apresentando informações das principais configurações necessárias para o controle dos componentes eletromecânicos do projeto.

A Seção 5.5, as avaliações do Litera Braille referentes ao levantamento de custo para a montagem do dispositivo, às verificações de funcionamento geral e de velocidade, assim como as avaliações realizadas com os participantes da pesquisa.

Na Seção 5.6, são apresentadas as discussões e reflexões realizadas a partir das quais buscou-se relacionar os conceitos da fundamentação com os dados qualitativos e

quantitativos desta pesquisa, demonstrando a importância do Braille e de dispositivos de TA, incluindo o próprio Litera Braille, para o avanço da acessibilidade para as pessoas com DV, principalmente em relação à prática do Braille.

5.1 Perfil dos Participantes

A atividade inicial do momento de teste com os participantes foi a aplicação do Questionário demográfico, apresentado na Subseção 4.3.1, com o objetivo de conhecer o perfil dos participantes (Apêndice E), com perguntas relacionadas à deficiência e à vivência dos mesmos com o Braille e com a máquina de escrever em Braille. Foi possível, no período de coleta, entrevistar o quantitativo de 10 participantes voluntários. Observou-se um grupo heterogêneo entre os participantes, com quantidade, por exemplo, de 50% de pessoas autodeclaradas com o gênero masculino e 50% de pessoas autodeclaradas com o gênero feminino (Figura 5.1-a). Considerando a faixa etária (Figura 5.1-b), também foi observado uma boa variabilidade, com participantes em praticamente todas as faixas etárias organizadas no questionário da pesquisa, contemplando desde pessoas mais jovens até aquelas de idade mais alta, encontrando-se a maior quantidade (50%) na faixa dos 29 aos 39 anos.

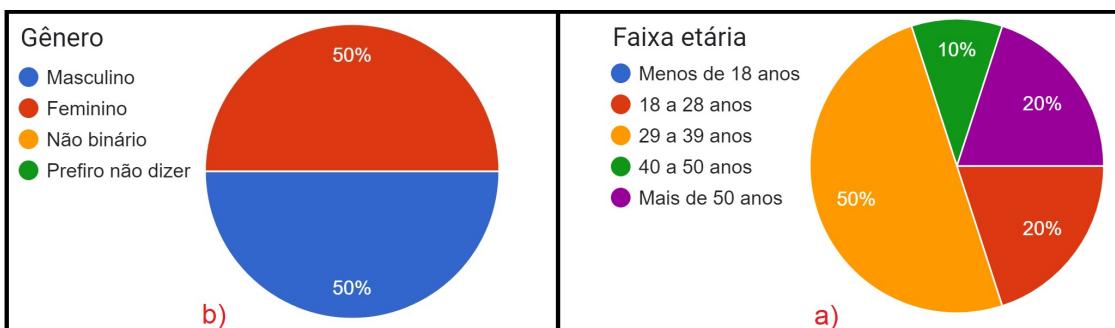


Figura 5.1: Gráficos de Gênero e Faixa etária dos participantes.

Conforme tratado na Fundamentação Teórica, a deficiência visual pode ser classificada de diferentes formas e níveis, assim como pode ser iniciada ou diagnosticada em diferentes períodos da vida. Dessa forma, considerou-se importante analisar dados sobre a deficiência visual dos participantes, tais como o tipo e a razão da deficiência, se congênita ou adquirida, e quando esta teve início (Figura 5.2).

No que se refere ao período de início da deficiência visual (Figura 5.2-a), a maior porcentagem ocorreu no período perinatal com a taxa de 40%, enquanto a porcentagem restante foi dividida igualmente entre os períodos de infância, adolescência e adulto. Para 70% dos participantes, a deficiência (Figura 5.2-b) foi identificada como congênita, enquanto para 30%, como adquirida. Em relação ao tipo de deficiência, a maior porcentagem da amostra foi composta por pessoas com baixa visão, correspondendo a 50% dos entrevistados, enquanto que a cegueira correspondeu a 40% e 10% se tratou de pessoa com surdo-cegueira (Figura 5.2-c).

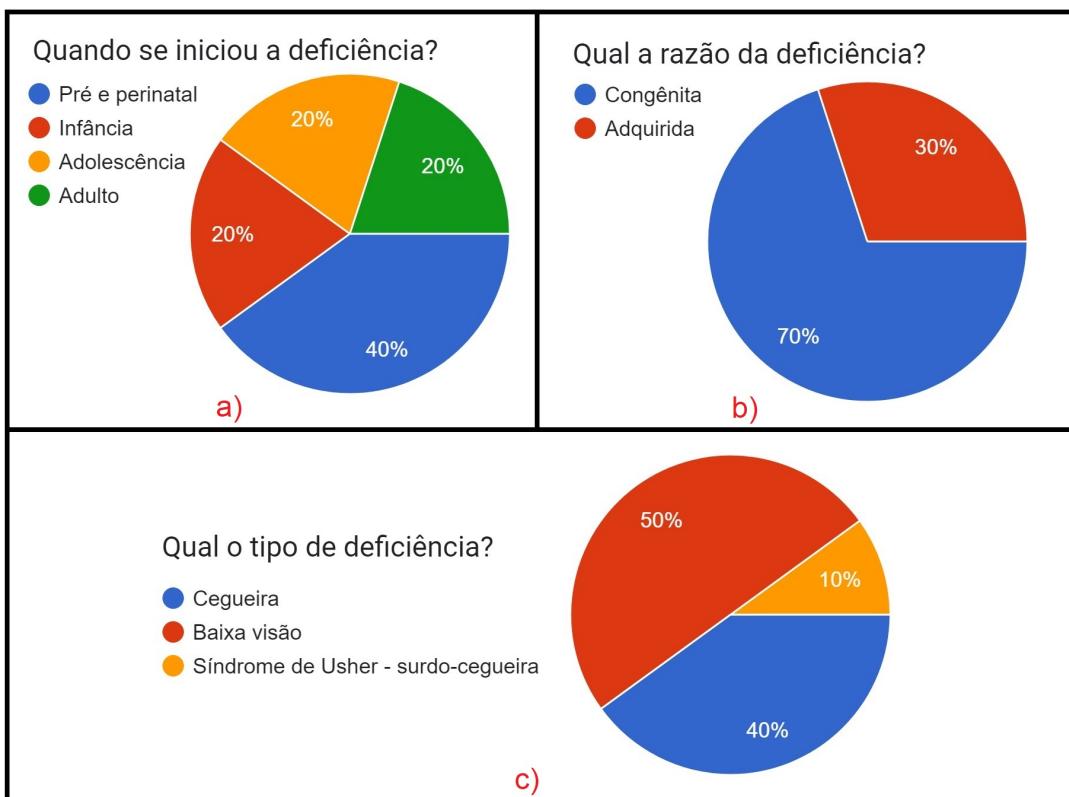


Figura 5.2: Gráficos sobre a Deficiência dos Participantes.

Em relação às informações sobre o aprendizado do Braille e a vivência com a máquina de escrever em Braille, os resultados também foram bem variados. Em relação a idade em que começaram a aprender o Braille, as respostas variaram dos 03 aos 50 anos de idade (Tabela 5.1), com maior predominância na idade adulta, o que ocorreu em 60% dos casos. Para padronizar a identificação dos participantes é utilizado a letra “P” seguida de um número (por exemplo, P-1 para representar o Participante 1).

Em relação ao nível de proficiência com o Braille, a maioria dos participantes se identificou com o nível intermediário, tanto para a escrita (Figura 5.3-a), com o total de 50% dos participantes, quanto para a leitura (Figura 5.3-b), com um total de 60%. Se considerar a soma entre os participantes com níveis de proficiência intermediário ou avançado, o total de participantes que se identificaram nesses níveis, tanto para a leitura quanto para a escrita, é de 70%.

Para os quesitos relativos à utilização das ferramentas de TA para a escrita em Braille (Figura 5.4), 100% dos participantes relataram utilizar a máquina Perkins, sendo esta ferramenta a favorita de todos os participantes. Além da máquina Perkins, 70% dos participantes relataram utilizar também a reglete e a punção. Nenhum dos entrevistados relatou contato com outros dispositivos TA para a escrita do Braille.

Quando questionados sobre o que acham da máquina de escrever em Braille, os

Tabela 5.1: Idade do início da aprendizagem do Braille.

Participante	Idade
P-1	07 anos
P-2	29 anos
P-3	14 anos
P-4	08 anos
P-5	03 anos
P-6	38 anos
P-7	20 anos
P-8	56 anos
P-9	40 anos
P-10	30 anos



Figura 5.3: Gráficos de Nível de Proficiência com o Braille.

Como você está mais acostumado a escrever em Braille?

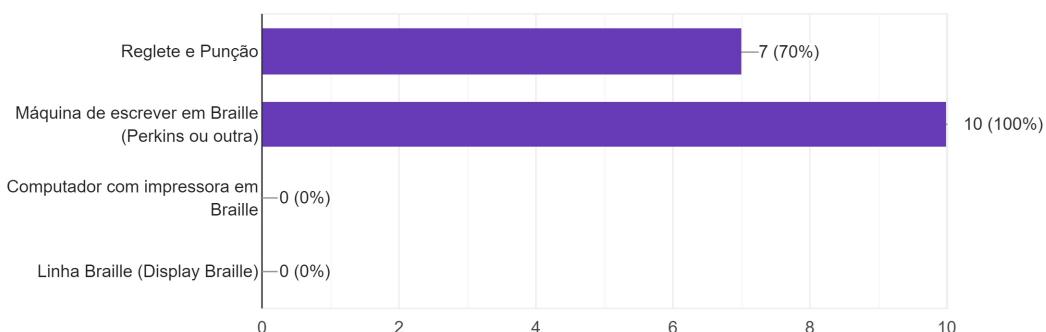


Figura 5.4: Gráfico sobre tipo de instrumento utilizado para a escrita do Braille.

participantes foram unânimes em relatar que é um equipamento muito bom e que preferem utilizá-la do que a reglete e a punção. Nesse sentido, as falas dos participantes a seguir demonstram esse posicionamento:

- **P-1:** “Acho boa, pois facilita bastante e pode escrever com as 2 mãos de forma

concomitante, o que melhora muito”;

- **P-2:** “Acho boa. Pena que não tenho em casa”;
- **P-3:** “Acho boa. Muito versátil. Ajuda muito”;
- **P-4:** “Ótima. Só o preço que é ruim”;
- **P-5:** “Mais prático do que a reglete”;
- **P-6:** “É uma boa máquina. Melhor do que utilizar a reglete. Muito útil”;
- **P-7:** “Mais prática de escrever. Escreve bem mais rápido do que na reglete. O ponto negativo é o peso e no início precisa se acostumar com as teclas, pois a depender da força que apertar a tecla, o ponto não sai”;
- **P-8:** “Muito interessante. A máquina para escrever supera tudo. Gosto da praticidade e da facilidade para escrever”;
- **P-9:** “Acho ótima. Pena que é muito cara e pesada”;
- **P-10:** “Perfeita”.

Apesar destes relatos que demonstram que a máquina de escrever em Braille é um dispositivo muito importante e que facilita a vida das pessoas com DV, nenhum dos participantes relatou possuir um dispositivo deste tipo (Figura 5.5-a). Praticamente todos os participantes utilizam a máquina Perkins com frequência semanal (90%) e 1 participante apenas com frequência mensal (Figura 5.5-b), pelo fato de todos eles só terem acesso ao equipamento através do CAP-DV (Figura 5.6).

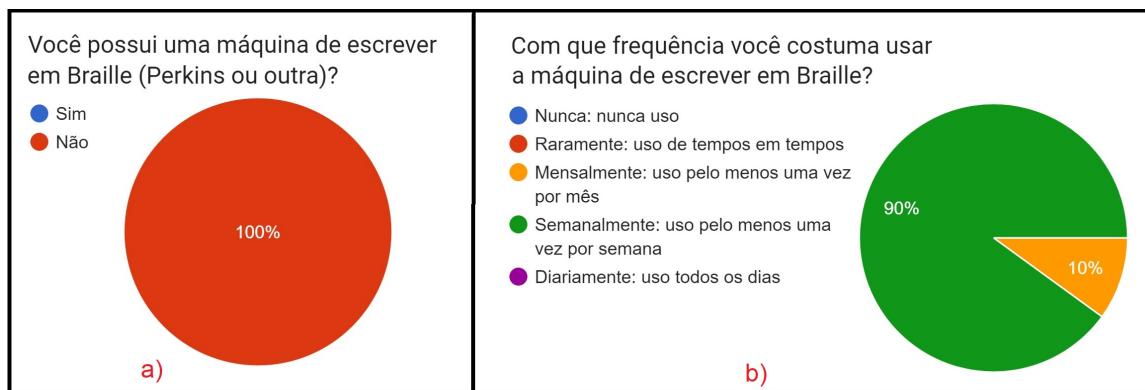


Figura 5.5: Gráficos sobre relação com a máquina de escrever em Braille.

Quando questionados sobre os motivos de não possuírem uma máquina de escrever em Braille (questão 15 do Apêndice E - Perfil dos Participantes), os participantes relataram, em unanimidade, que se deve ao fato do referido equipamento ter um custo muito elevado para a aquisição, conforme pode ser observado nas falas a seguir:

- **P-1:** “Muito cara”;
- **P-2:** “Preço muito alto”;

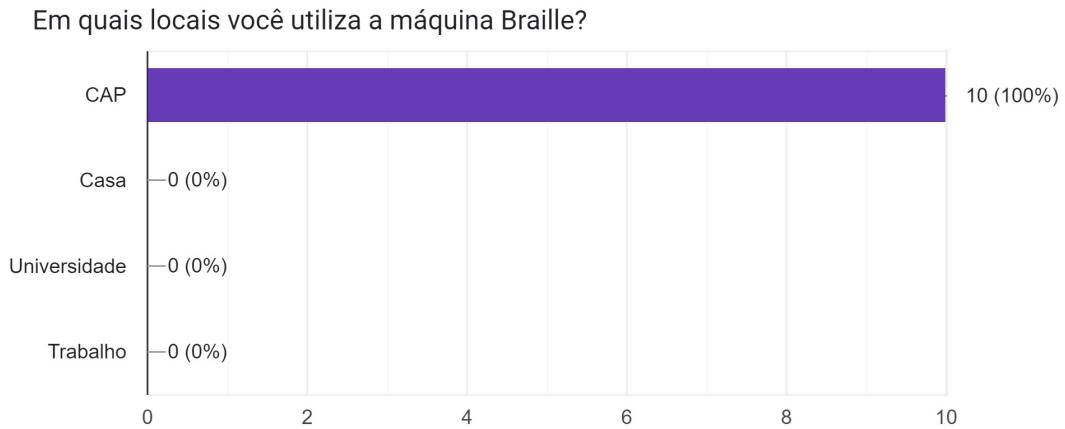


Figura 5.6: Gráficos sobre locais de acesso à máquina de escrever em Braille.

- **P-3:** “Preço elevado. Também escrevo pouco hoje, mas seria muito útil, pois quando preciso fazer alguma fala na minha igreja é bom ter uma forma de escrever antes o que eu vou falar”;
- **P-4:** “Preço muito elevado”;
- **P-5:** “Por ter contato no CAP-DV. Se fosse mais barata eu teria uma”;
- **P-6:** “O custo. Posso dizer também em relação à minha necessidade de uso, pois hoje já tem outras tecnologias”;
- **P-7:** “É mais pesada para carregar. Cara também”;
- **P-8:** “Preço muito elevado”;
- **P-9:** “Custo benefício. É muito cara”;
- **P-10:** “Custo elevado”.

Observa-se, a partir das análises dos dados coletados nessa pesquisa de perfil dos participantes, que, apesar da existência de alguns instrumentos de TA, ainda existe grande dificuldade de acesso a essas tecnologias inclusivas que poderiam tornar a vida das pessoas com DV melhor. Mesmo considerando a máquina de escrever em Braille como o método preferido e mais utilizado para a escrita Braille, a maioria dos participantes relatou a grande dificuldade em adquiri-la, devido ao custo elevado, o que acaba tornando-a um equipamento pouco acessível.

5.2 Desenvolvimento da primeira versão funcional do Litera Braille

Seguindo as etapas da metodologia centrada no usuário, *Design Thinking*, o processo de desenvolvimento do Litera Braille foi iniciado pela etapa **Empatizar** com

a realização da entrevista inicial e da visita ao CAP-DV, após a qual foi possível **Definir** como proposta um dispositivo de baixo custo com funcionalidades semelhantes às da máquina de escrever em Braille. A pesquisa bibliográfica também foi de suma importância e permitiu identificar, em trabalhos correlatos, técnicas que pudessem ser empregadas para construção do Litera Braille, tais como os trabalhos de Suzukawa (2010) e Fernandes et al. (2016) que ajudaram a idealizar inicialmente uma solução a partir da reutilização, como estrutura base do dispositivo, da carcaça de uma impressora jato de tinta reaproveitada e a utilização da placa microcontroladora Arduino Mega 2560 para controlar os diversos equipamentos, interfaces e processamento.

Os trabalhos de Fernandes et al. (2016) e de Apurva et al. (2017) inspiraram a utilização e o posicionamento de servomotores para possibilitar a marcação dos pontos da Cela Braille, formando a cabeça de impressão a ser utilizada, pois a original da impressora, que é de jato de tinta, precisaria ser substituída por uma cabeça de impressão desenvolvida para marcação dos pontos da Cela Braille no papel.

Para a estrutura do Litera Braille, em primeiro momento foi proposta a utilização do teclado do *Braillestick*, como dispositivo de entrada da digitação do usuário, o Arduino para recebimento e processamento da referida digitação, assim como controle dos demais itens eletromecânicos como os motores, e a utilização de uma sucata de impressora jato de tinta para reaproveitamento da estrutura e dos motores responsáveis pela movimentação da cabeça de impressão e do papel. A Figura 5.7 mostra o esquema com esses itens descritos que compuseram a ideia inicial, a qual teve sua importância para ajudar a definir os conceitos utilizados.

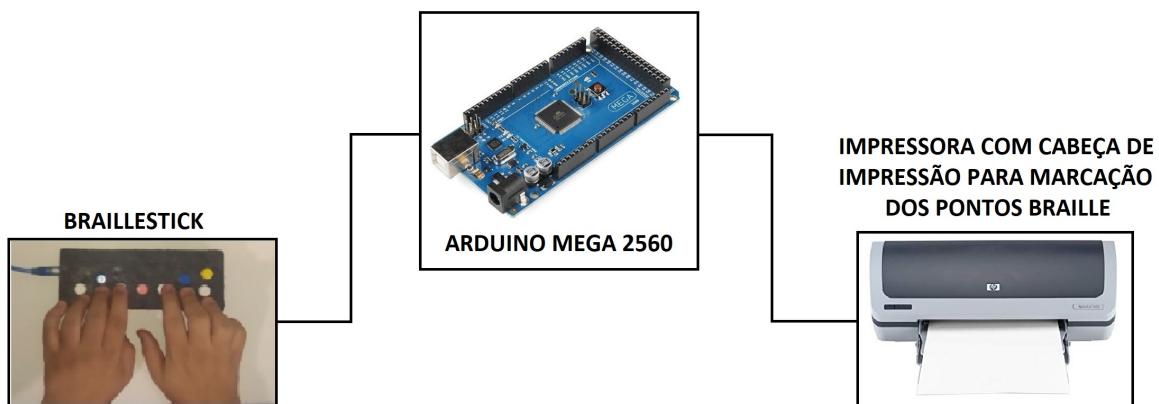


Figura 5.7: Modelo esquemático da ideia inicial desenvolvida para o Litera Braille mostrando em uma imagem à esquerda o dispositivo *Braillestick* sendo ligado a uma imagem central representando um dispositivo Arduino Mega 2560 que, por sua vez, se liga à uma imagem à direita representando uma impressora jato de tinta com a adição de uma cabeça de impressão específica criada na pesquisa para marcação dos pontos Braille.

Essa opção inicial esbarrou na dificuldade de padronização adequada para que fosse um projeto capaz de ser reproduzido por instituições ou mesmo pessoas individual-

mente e que consequentemente pudesse se manter de baixo custo e acessível. Diante disso, foi identificado o projeto *La Picoreuse - Cheap Braille Embosser (Laser Cut)* (Durand, 2018), que propôs uma impressora Braille replicável em MDF cortado a laser e entrou na concepção do projeto substituindo justamente a impressora jato de tinta comercial.

A Figura 5.8 mostra a interação entre os macrocomponentes do Litera Braille, através do qual a entrada se dá a partir da digitação pelo usuário no teclado *Braillestick* (Santana, 2021); o processamento é realizado na placa microcontroladora Arduino Mega 2560, que recebe os sinais do teclado e controla os motores de passo instalados na estrutura da impressora Braille *La Picoreuse* e os servomotores da cabeça de impressão. A versão Mega 2560 do Arduino foi escolhida pela quantidade de portas disponíveis, tendo em vista que é necessário conectar as 8 teclas do *Braillestick*, além do controle dos 2 motores de passo e os 3 servomotores.

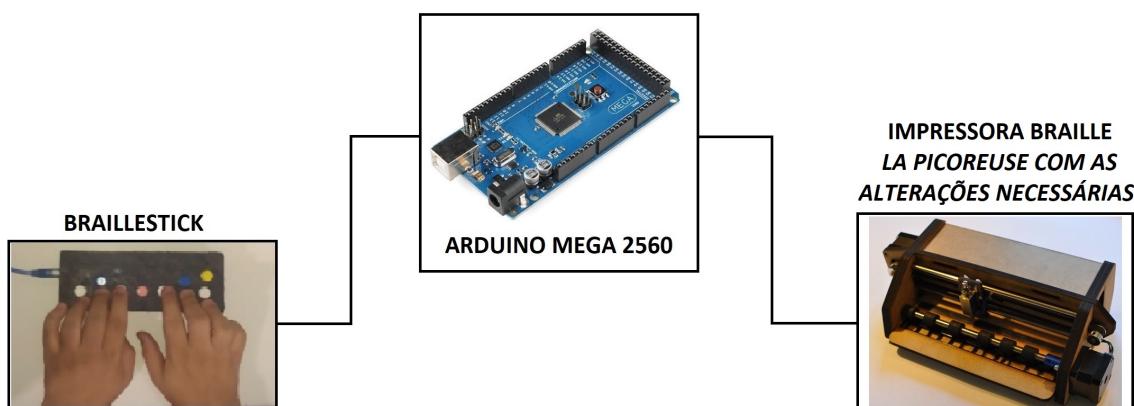


Figura 5.8: Segundo Modelo esquemático do Litera Braille substituindo a impressora jato de tinta pela impressora Braille *La Picoreuse*, na imagem da direita, com as necessárias alterações para adaptação ao projeto do Litera Braille.

Para utilização do *La Picoreuse* neste trabalho, manteve-se a ideia geral de uma estrutura implementada com peças de MDF cortadas a laser e encaixáveis de modo a permitir ser reproduzida, até mesmo por usuários comuns, seguindo as instruções do projeto. Foi necessário, porém, realizar várias alterações em todas as peças da estrutura para atender as peculiaridades do Litera Braille, que se trata de uma máquina de escrever em Braille eletrônica, tais como: ampliação do tamanho (em todas as dimensões), principalmente por conta da diferença da cabeça de impressão utilizada; mudança na estrutura de fixação da cabeça de impressão; mudança no posicionamento do rolete responsável por movimentar o papel; e mudança para adicionar o teclado na própria estrutura.

Com base nas referências e a evolução descrita no projeto, foi possível determinar os seguintes parâmetros para o desenvolvimento do Litera Braille:

- Utilização do teclado *Braillestick* (Santana, 2021) para entrada da digitação;

- Projeto da estrutura física do dispositivo feita em MDF cortado a laser baseado no projeto da impressora Braille *La Picoreuse* (Durand, 2018);
- Utilização de 2 motores de passo, sendo um motor responsável pelo movimento do rolete para o deslocamento do papel e o outro motor responsável pelo deslocamento da cabeça de impressão sobre as posições da linha para que os caracteres possam ser marcados no papel;
- Utilização de 3 servomotores, com auxílio de hastes metálicas, para marcação dos 6 pontos da Cela Braille, sendo cada um deles responsável por marcar 2 pontos ao girar no sentido horário e anti-horário, formando a cabeça de impressão;
- Desenvolvimento da estrutura da cabeça de impressão para afixação dos servomotores e das hastes com a utilização de peças de MDF cortadas a laser;
- Utilização de uma placa microcontroladora Arduino Mega 2560 para recebimento e processamento dos caracteres digitados e controle dos 2 motores de passo e os 3 servomotores da cabeça de impressão, com auxílio do *Motor Shield L293D*.

A Figura 5.9 mostra o fluxo da funcionalidade de escrita em Braille, principal atividade realizada pelo Litera Braille, com o processo de interação do usuário com o mesmo. Ao usuário acionar uma ou mais teclas referentes aos pontos Braille, a seguinte sequência é desencadeada no equipamento:

- O sinal do referido acionamento é processado pelo Arduino Mega 2560;
- O Arduino controla os servomotores da cabeça de impressão para a marcação dos pontos no papel;
- Com o auxílio do *Motor Shield L293D*, o Arduino controla o motor de passo (motor_X), responsável pela movimentação da cabeça de impressão para a posição de marcação do próximo caractere;
- Caso atinja o fim da linha, o Arduino controla o motor_X para retornar a cabeça de impressão para o início da próxima linha e controla o motor de passo (motor_Y) responsável pela movimentação do papel para posicioná-lo na próxima linha;
- Caso atinja o final da folha, o Arduino controla o motor_Y liberando a folha atual.

A etapa seguinte do desenvolvimento baseado na metodologia centrada no usuário, **Prototipar**, é também uma etapa muito importante nesse processo, pois é nela que a proposta e o dispositivo começam a ganhar formas, desde as de baixa fidelidade até as de mais alta fidelidade, até se alcançar o produto almejado. Os detalhes dos resultados alcançados na prototipação e desenvolvimento do dispositivo, assim como da etapa **Avaliar** da metodologia centrada no usuário, serão vistos nas seções e subseções seguintes.

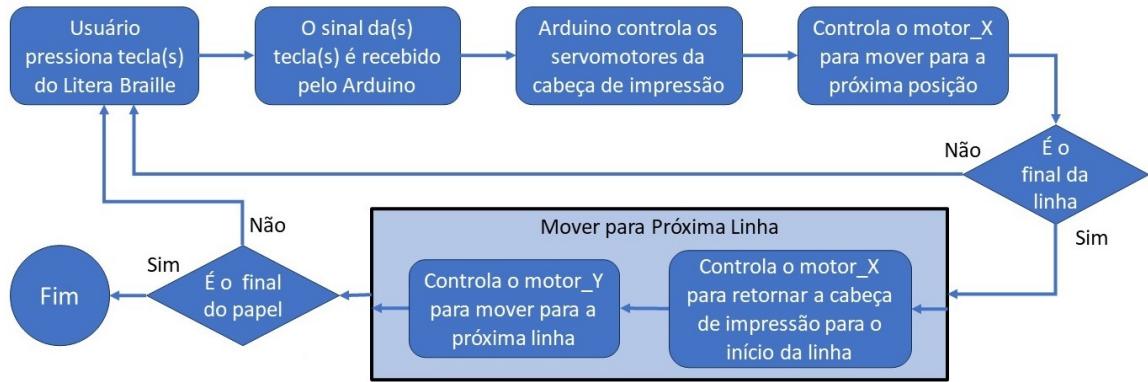


Figura 5.9: Fluxo de atividades realizadas na principal funcionalidade do Litera Braille.

5.2.1 Desenvolvimento da Cabeça de Impressão

A principal peça que precisou ser desenvolvida foi a cabeça de impressão. O primeiro modelo confeccionado teve o propósito de permitir uma visualização do que foi idealizado e dos movimentos feitos pelos servomotores e como as hastas para marcação dos pontos poderiam ser movimentadas. Esse primeiro modelo foi manufaturado com placa de MDF de 3 mm, conforme Figura 5.10.

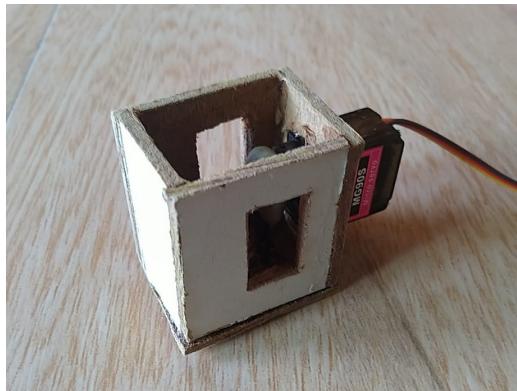


Figura 5.10: Primeiro modelo da cabeça de impressão manufaturado em MDF de 3mm.

Com o primeiro modelo confeccionado, foi observada a necessidade de identificar técnicas de conversão do movimento circular dos servomotores em movimento retilíneo. A primeira técnica identificada utiliza engrenagem no eixo do motor e na haste e o encaixe dessas engrenagens permite o movimento retilíneo, sendo uma técnica conhecida como mecanismo de pinhão e cremalheira - *pinion and rack* (Crivelatti, 2015).

O modelo da Figura 5.11 mostra o projeto 3D da: a) engrenagem do eixo do servomotor (a.1) e a engrenagem das hastas (a.2) de marcação dos pontos da Cela Braille; e b) cabeça de impressão montada com as engrenagens dos 3 servomotores (b.1), as

engrenagens das hastas (b.2) e as cavidades de encaixe dos servomotores (b.3).

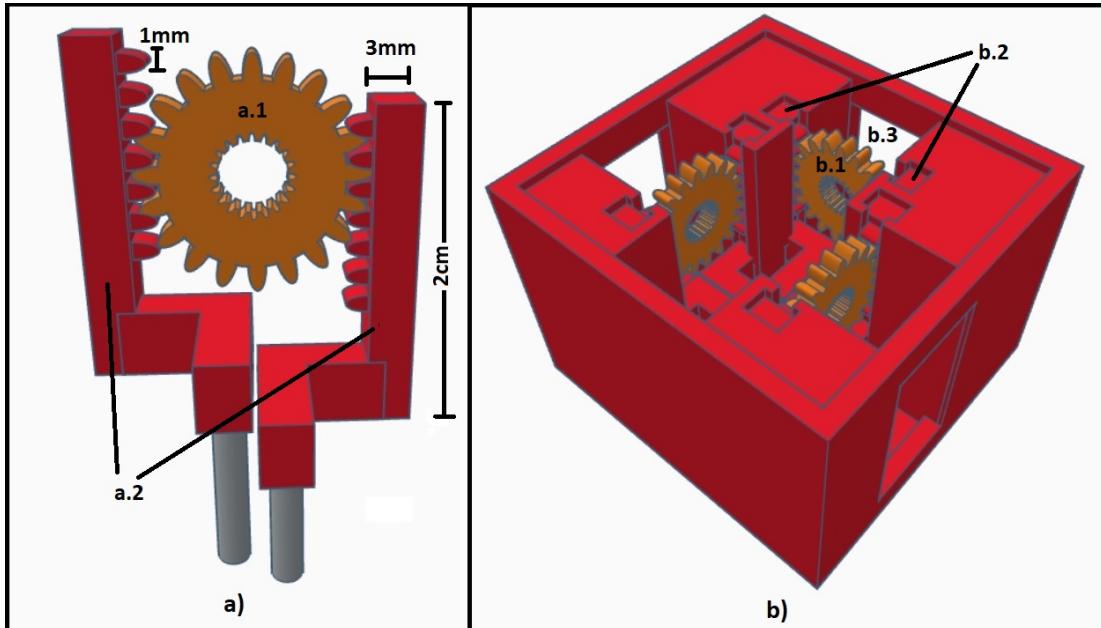


Figura 5.11: Primeiro modelo 3D projetado utilizando técnica de conversão de movimento circular em retilíneo através de engrenagens (técnica pinhão-cremalheira).

Esse primeiro modelo, porém, mostrou-se frágil, em especial a engrenagem das hastas devido tanto às dimensões bastante reduzidas (apenas 1mm de diâmetro), quanto à peculiaridade da impressão em 3D, em especial da impressora utilizada, que deposita o material plástico derretido por camadas, não permitindo uma adesão tão forte entre as camadas da peça, o que tornou o material um pouco mais frágil do que peças plásticas feitas industrialmente em moldes. Conforme esclarecem (Lopes and Galdino, 2013) o mecanismo de pinhão e cremalheira é baseado na resistência dos materiais utilizados, não sendo apropriado para a utilização devido às questões mencionadas.

O segundo modelo projetado baseou-se na técnica do mecanismo de garfo escocês (*scotch yoke*) para conversão de movimento circular em retilíneo. Conforme explica (Shimosaka, 2016), quando uma manivela é movida deslizando pela cavidade do garfo escocês acaba por mover o controle deslizante na armação, produzindo assim, um movimento retilíneo na saída.

A Figura 5.12 mostra o modelo projetado em 3D de: a) conjunto de manivela (a.1) e garfo-escocês (a.2); e b) cabeça de impressão do Litera Braille projetado com base na referida técnica com as manivelas (b.1) nas quais os eixos dos servomotores são encaixados, as hastas (b.2) inspiradas no garfo escocês e as cavidades de encaixe dos servomotores (b.3).

O terceiro modelo baseou-se na técnica de biela-manivela, muito conhecida por ser o mecanismo empregado normalmente em motores à combustão para converter o

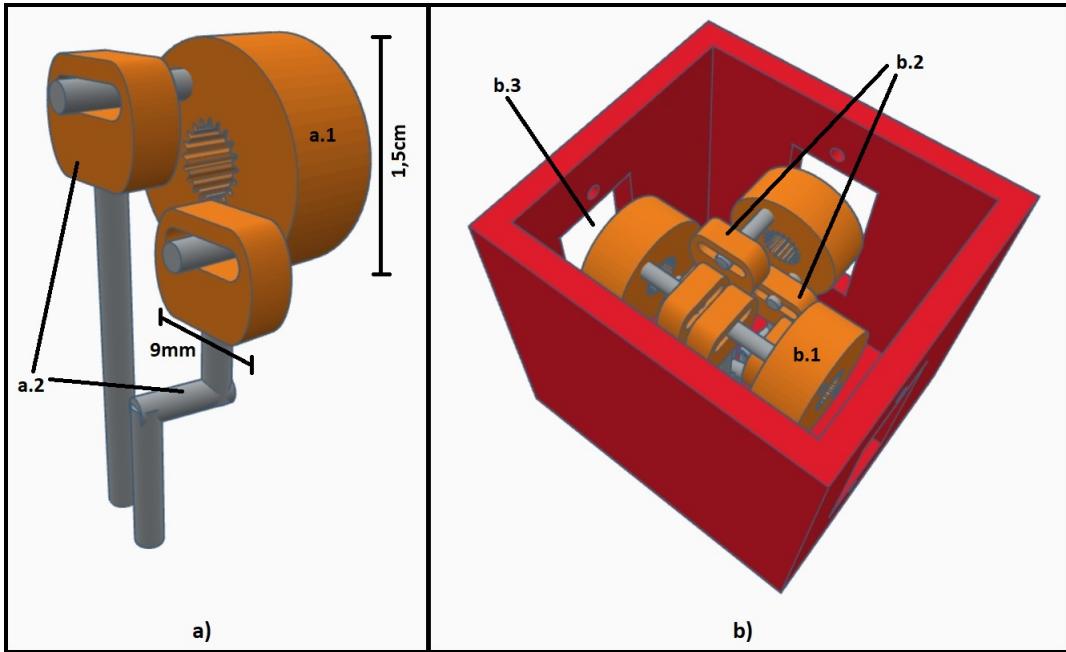


Figura 5.12: Segundo modelo 3D projetado inspirado no mecanismo do garfo escocês (*scotch yoke*) para conversão de movimento circular em retilíneo.

movimento retilíneo dos pistões em movimento circular, podendo ser, porém, utilizado na conversão inversa. Segundo (Shimosaka, 2016), o mecanismo utiliza uma manivela que descreve um movimento de rotação e, à qual está conectada, de forma articulada, uma biela que realiza o processo de conversão do movimento transmitido para um cursor que desliza de forma retilínea pela corrediça (no exemplo de um motor a combustão, o pistão seria o cursor e o cilindro, a corrediça).

A Figura 5.13 mostra o modelo projetado em 3D com inspiração na técnica de biela-manivela, sendo: a) conjunto de manivela (a.1) e haste funcionando como uma biela (a.2); e b) cabeça de impressão do Litera Braille projetado com base na referida técnica com as manivelas (b.1), nas quais os eixos dos servomotores são encaixados; as hastes (b.2) fazendo as vezes de bielas; o caminho para as hastes com as dimensões da Cela Braille (b.3), servindo de corrediça e as cavidades de encaixe dos servomotores (b.4).

O modelo da cabeça de impressão dos pontos da Cela Braille montada, após impressão das peças necessárias em impressora 3D, manufatura das hastes com metal galvanizado e utilizando os servomotores adquiridos, pode ser observado na Figura 5.14. Apesar das 3 técnicas descritas (Figuras 5.11, 5.12 e 5.13) serem viáveis, a depender do material utilizado (especialmente em relação à técnica do mecanismo de pinhão e cremalheira), fez-se necessário uma maior atenção em relação à resistência dos materiais. Pelas peculiaridades deste projeto em particular, acabou-se optando por empregar a técnica do mecanismo de biela-manivela, devido a esta se mostrar mais simples, principalmente no quesito de dimensões muito reduzidas.

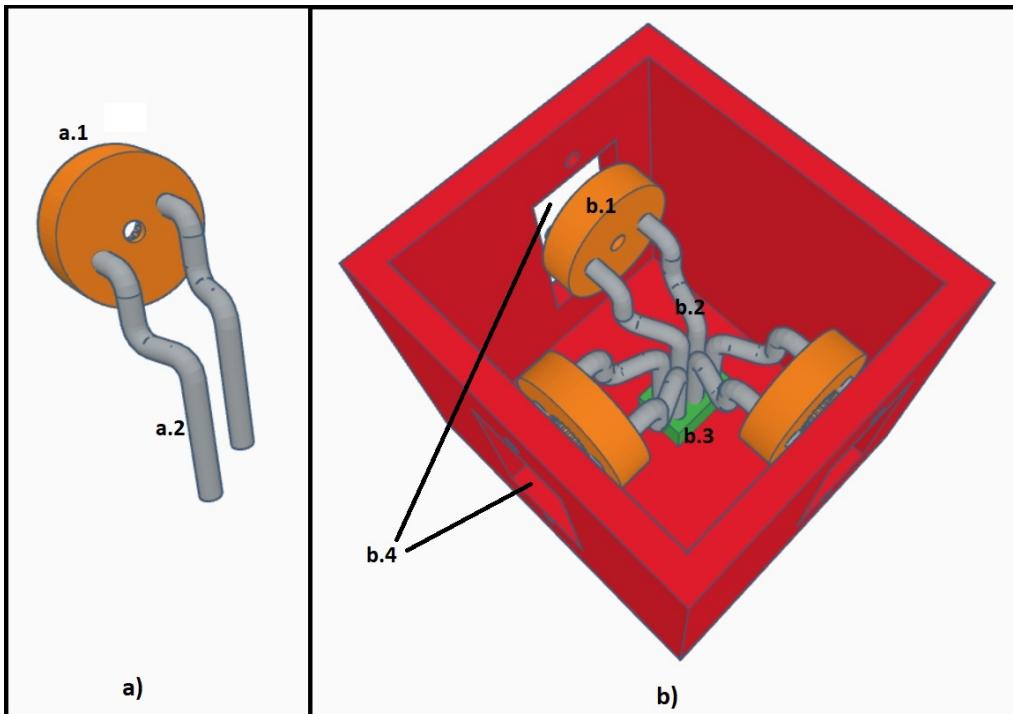


Figura 5.13: Terceiro modelo 3D projetado com inspiração no mecanismo de biela-manivela para conversão de movimento circular em retilíneo.

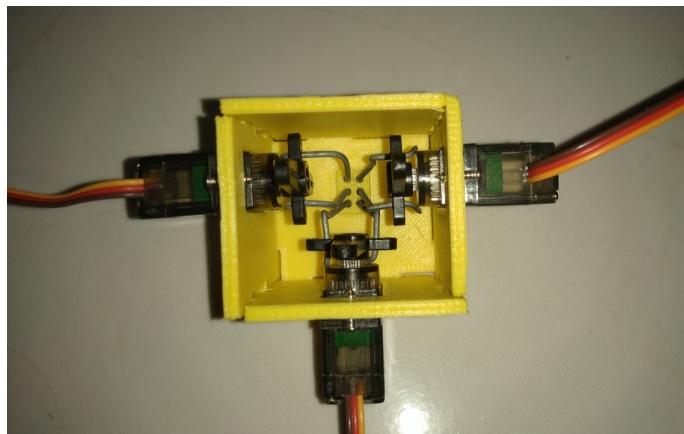


Figura 5.14: Cabeça de Impressão confeccionada com servomotores, peças resultantes da impressão 3D e hastes metálicas moldadas manualmente.

A cabeça de impressão ainda passou por mais algumas alterações em sua estrutura. Com a mudança da concepção de utilizar a estrutura de uma impressora jato de tinta reutilizada para uma estrutura em MDF cortada a laser baseada no projeto da impressora Braille *La Picoreuse*, conforme visto na Seção 4.5, optou-se por construir a cabeça de impressão com as peças da estrutura também confeccionadas em MDF. Esta modificação permitiu deixar o material da cabeça de impressão mais compatível com o material adotado para a estrutura do Litera Braille.

Essa versão da cabeça de impressão, mostrada na Figura 5.15, passou por algumas mudanças, mas basicamente difere da versão anterior por ter as peças da estrutura confeccionadas em MDF de 3mm, cortadas a laser. Além dessa alteração, foram adicionados, à estrutura da cabeça de impressão, rolamentos lineares necessários para o deslocamento da mesma. O material em MDF oferece uma boa resistência, além de fácil utilização por permitir empregar a técnica de corte a laser.

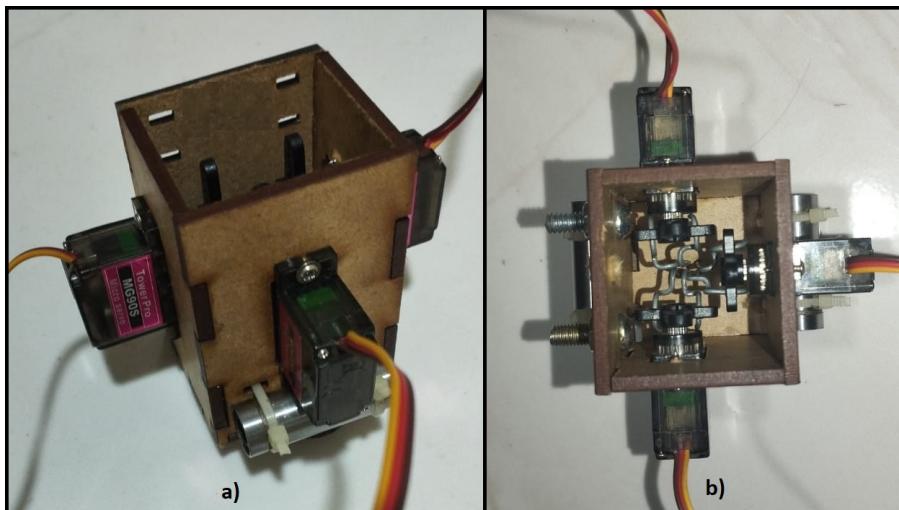


Figura 5.15: Cabeça de Impressão desenvolvida com peças estruturais em MDF cortado a laser - a) ênfase parte externa; b) ênfase parte interna.

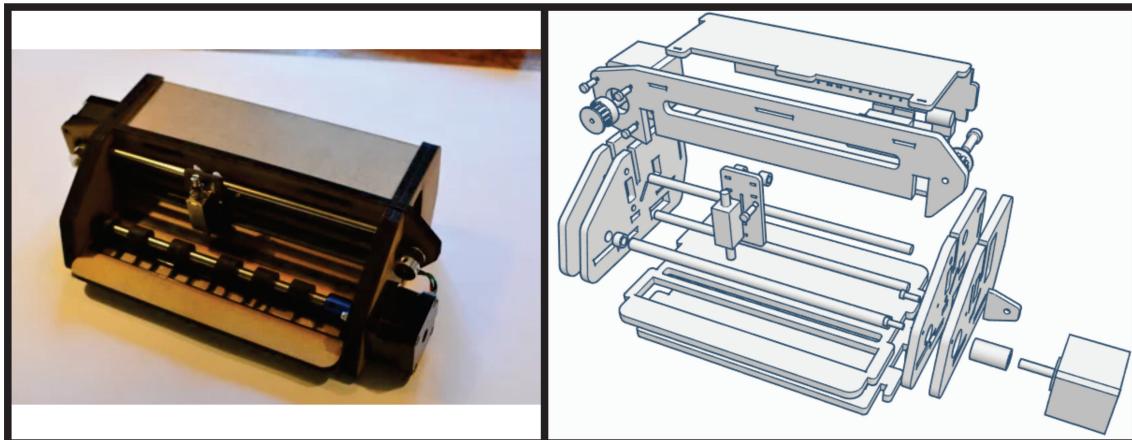
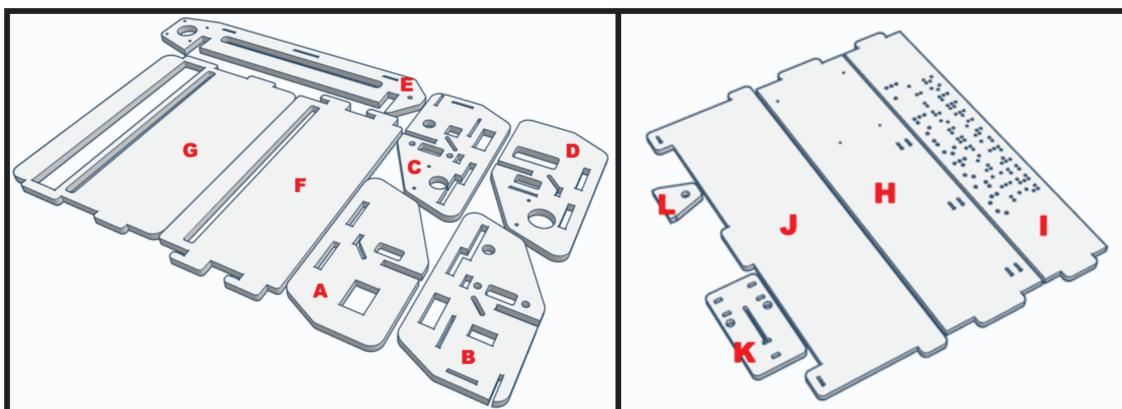
Após a realização do teste com um participante sobre a primeira versão funcional do dispositivo, a cabeça de impressão ainda precisou passar por uma alteração para a inclusão de novas funcionalidades no dispositivo (Passo Metodológico (PM8) descrito na Seção 4.2). O desenvolvimento dessas alterações será melhor detalhado na Seção 5.3, de modo a manter o encadeamento textual.

5.2.2 Desenvolvimento da estrutura da primeira versão funcional do Litera Braille

Como visto na Seção 5.2, para a construção do Litera Braille está sendo utilizada uma estrutura em MDF cortado a laser baseada no projeto da impressora Braille *La Picoreuse*. A Figura 5.16 mostra a impressora Braille *La Picoreuse*, com detalhes na imagem da direita referente aos seus componentes.

Para o desenvolvimento da estrutura do Litera Braille, manteve-se a ideia geral de uma estrutura implementada com peças de MDF cortadas a laser e encaixáveis, permitindo a reprodução, até mesmo por usuários comuns, seguindo as instruções do projeto. A Figura 5.17 mostra os detalhes das peças que compõem a estrutura da impressora Braille *La Picoreuse*.

Para atender as peculiaridades do Litera Braille, que trata-se de uma máquina de escrever em Braille eletrônica, foi necessário realizar várias alterações em todas as

Figura 5.16: Impressora Braille *La Picoreuse*.Figura 5.17: Impressora Braille *La Picoreuse*.

peças da estrutura da *La Picoreuse* que puderam ser utilizadas como base. Para uma melhor comparação, na Figura 5.18 estão demonstradas as peças da estrutura do Litera Braille com o mesmo padrão de legenda da Figura 5.17.

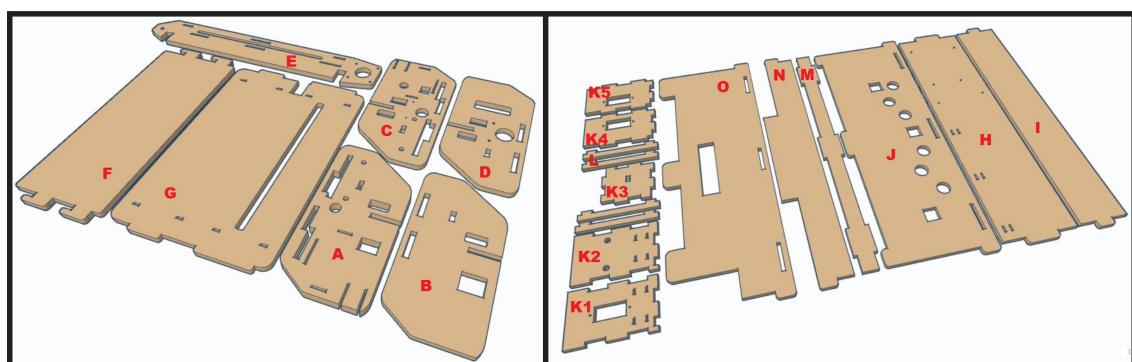


Figura 5.18: Peças do Litera Braille.

Dentre as principais mudanças realizadas estão aquelas necessárias para adicionar o teclado do *Braillestick* na própria estrutura do dispositivo, a partir de alterações

realizadas na peça “J” da Figura 5.17, tanto em relação ao tamanho quanto em relação aos orifícios para os botões do teclado. Foi necessário também criar uma base que servisse como suporte para o teclado. Para tanto foi necessário adicionar a peça com legenda “O” na Figura 5.18, além de ser necessário subdividir a peça “I” da Figura 5.17 nas peças “I” e “M” da Figura 5.18.

Além das peças já relatadas, outras ainda foram necessárias para atender às peculiaridades do Litera Braille, tais como: a peça “N” que ajuda a separar o compartimento da parte eletrônica de partes mecânicas do dispositivo, como os roletes, evitando que fiações fiquem presas nesses roletes; as peças com legenda “L” que funcionam como delimitadores para a folha de papel A4 e as peças com legenda “K” na Figura 5.18, que compõem a estrutura da cabeça de impressão.

Foi necessário também realizar ampliação do tamanho das peças para todas as dimensões do dispositivo. A ampliação precisou ocorrer principalmente por conta da diferença da cabeça de impressão utilizada no Litera Braille que é maior do que a peça da impressora *La Picoreuse* (legenda “K” da Figura 5.18), além da necessidade de mais espaço para adicionar o teclado do Braillestick. A *La Picoreuse* montada fica com aproximadamente 32cm de largura, 16cm de comprimento e 8cm de altura, enquanto o Litera Braille ficou com aproximadamente 37cm de largura, 18cm de comprimento e 9cm de altura.

Outras mudanças necessárias ocorreram na estrutura de fixação da cabeça de impressão. Na impressora *La Picoreuse*, foram utilizados 2 eixos horizontais paralelos fixados na estrutura do dispositivo de forma linear vertical, necessários para a fixação da cabeça de impressão. Essa configuração é justificada pela peculiaridade da forma e das dimensões de sua cabeça de impressão, que é uma peça mais estreita e que trabalha com pressão linear mais próxima do eixo de base da peça. Esses detalhes podem ser vistos na Figura 5.19, na qual a legenda “A” chama a atenção para a cabeça de impressão e a legenda “B” demonstra a fixação dos eixos na estrutura da impressora *La Picoreuse*. Esses eixos são utilizados tanto como suporte para a cabeça de impressão quanto para permitir o deslocamento linear da mesma.

Para adaptar os princípios de fixação da cabeça de impressão da impressora *La Picoreuse* à realidade do Litera Braille, cuja cabeça de impressão é maior e com peso e pressão distribuídos de forma mais afastados de um único ponto, preferiu-se realizar a fixação utilizando eixos horizontais paralelos fixados na estrutura do dispositivo de forma linear horizontal. Essas diferenças podem ser vistas na Figura 5.20 na qual a legenda “A” mostra a cabeça de impressão e a legenda “B” exibe a fixação dos eixos na estrutura do Litera Braille.

Outra mudança necessária, entre a impressora *La Picoreuse* e o Litera Braille, diz respeito ao sentido de deslocamento do papel, como pode ser visto nas legendas “D” das Figuras 5.19 e 5.20 respectivamente. Por conta da mudança no sentido de movimentação do papel, foi necessário também realizar mudança no posicionamento do eixo com os roletes (legendas “C” nas Figuras 5.19 e 5.20) responsáveis pela movimentação do papel. Essa alteração foi motivada pela necessidade de que estes

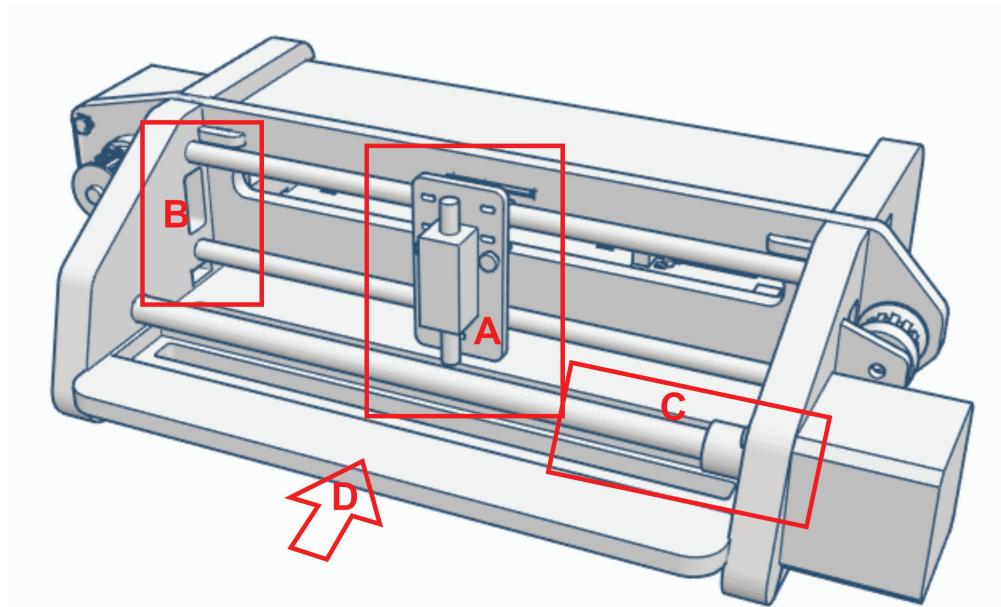


Figura 5.19: Impressora *La Picoreuse* em 3D - A) cabeça de impressão utilizando os eixos horizontais paralelos entre si como suporte; B) fixação dos eixos na estrutura do dispositivo formando uma linha vertical entre os pontos de fixação; C) eixo dos roletes responsáveis por movimentar o papel; e D) sentido da movimentação do papel.

roletes estivessem em posição anterior à posição de marcação dos pontos da Cela Braille em relevo, evitando o risco de desmarcá-los.

A Figura 5.20 (a) mostra o Litera Braille montado e com o exemplo de uma mão posicionada com os dedos sobre os botões referentes aos pontos 1, 2 e 3 da Cela Braille. Esta imagem mostra o dispositivo no sentido de sua utilização com papel posicionado para ser movimentado pelos roletes. A Figura 5.20 (b) mostra o Litera Braille em 3D com a indicação dos botões. Os botões de 1 a 6 são relativos aos seis pontos da Cela Braille. O botão “PI” (Posição Inicial) é utilizado para que o dispositivo realize a operação de movimentar o papel inserido pelo usuário até a posição adequada para iniciar a digitação, utilizando como padrão uma margem superior de 3cm. O botão “E” é utilizado para registrar um Espaço e o botão “NL” (Nova Linha) é utilizado para que o dispositivo posicione a cabeça de impressão no início de uma nova linha.

Para o suporte do papel na região onde a cabeça de impressão realiza o procedimento de marcação dos pontos no Litera Braille, inicialmente seguiu-se o mesmo princípio utilizado na impressora *La Picoreuse*, fixando um material emborrachado em fresta na peça da base do dispositivo que existe com esse objetivo. O material emborrachado utilizado nesta versão tem densidade suficiente para permitir que as hastes da cabeça de impressão realizem as marcações no papel sem permitir rasgá-lo, sendo, no entanto, também necessário o controle adequado da pressão realizada pelas hastes da cabeça de impressão sobre o papel para uma melhor marcação dos

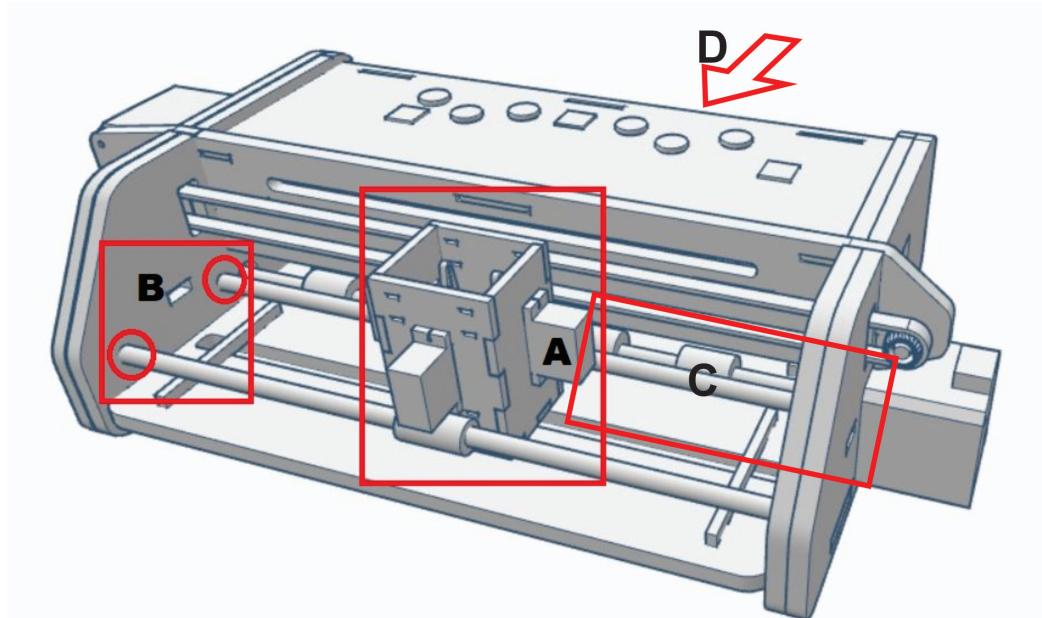


Figura 5.20: Litera Braille em 3D - A) cabeça de impressão utilizando os eixos horizontais paralelos entre si como suporte; B) fixação dos eixos na estrutura do dispositivo formando uma linha horizontal entre os pontos de fixação; C) eixo dos roletes responsáveis por movimentar o papel; e D) sentido da movimentação do papel. Obs.: a imagem está no sentido oposto da movimentação do papel e de como a mesma é utilizada pelos usuários, devido ao fato de ser a melhor posição para mostrar os detalhes dos componentes.

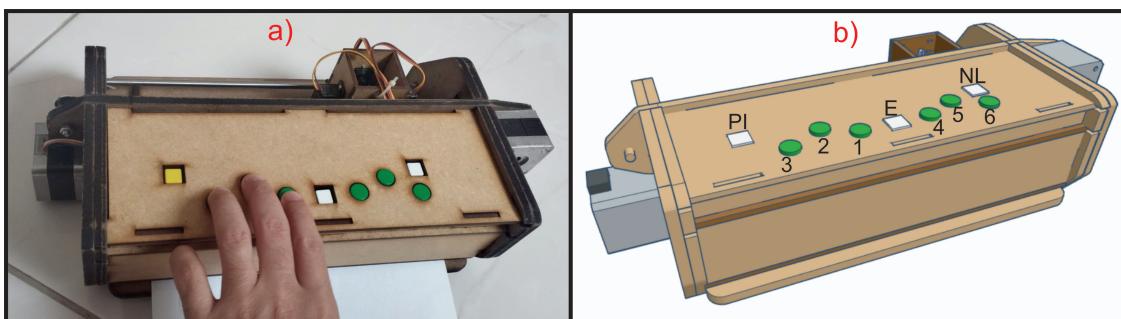


Figura 5.21: Litera Braille. a) utilização do dispositivo montado. b) dispositivo em 3D com indicação dos botões.

pontos.

5.2.3 Desenvolvimento no esquema eletrônico da primeira versão funcional do Litera Braille

Além do projeto estrutural do Litera Braille, foi necessário projetar o circuito eletrônico para controle dos equipamentos eletromecânicos do dispositivo. Como visto na Seção 5.2, a placa microcontroladora Arduino Mega 2560 é a peça central do

projeto eletrônico do dispositivo, sendo responsável por receber os sinais dos Botões e do Fim de Curso. Além disso, essa placa controla os servomotores da cabeça de impressão, para a realização da marcação dos pontos da Cela Braille, e os motores de passo responsáveis por movimentar a cabeça de impressão e o papel.

O controle dos servomotores e dos motores de passo é realizado com o auxílio do *Motor Shield L293D*¹⁰, que é acoplado diretamente à placa Arduino através de encaixe nos pinos demonstrados na Figura 5.22. Esse dispositivo permite controlar até 4 Motores DC (*Direct Current* - Corrente Contínua) ou 2 Motores de Passo e 2 servomotores por padrão, podendo, porém, ser ampliada a quantidade de servomotores com a utilização de portas PWM livres. O *Motor Shield* poderia ser alimentado através da alimentação do Arduino, mas para o projeto do Litera Braille isso não foi possível, pois os motores de passo utilizados no projeto utilizam tensão de 12V cada um deles, enquanto a placa do Arduino precisa ser alimentada com tensão entre 5V a 9V. Além da questão da voltagem, a alimentação do *Motor Shield* através do Arduino poderia acarretar a sua danificação, devido ao nível de corrente requisitado pelos motores. Nesse caso, portanto, o Arduino é alimentado pelo *Motor Shield* que consegue regular a tensão transferida para aquele.

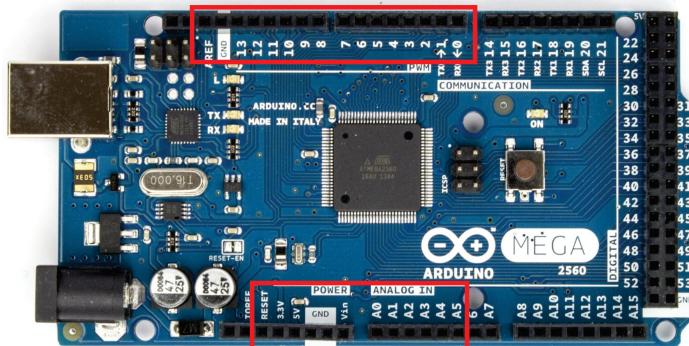


Figura 5.22: Portas do Arduino Mega 2560 nas quais é acoplado o *Motor Shield 2560*.

Os motores de passo utilizados no projeto são do modelo 17PM-K04¹¹ da empresa Microbea Motor. São motores de passo bipolar que trabalham com corrente contínua de 0,7A. Esses motores seguem o padrão Nema 17 bipolar de 1,8 graus por passo, ou seja, precisam de 200 passos para um giro completo de 360°. Esse valor da quantidade de passos é necessário para a configuração da utilização dos motores no código do Arduíno, como será visto na Seção 5.4.

No projeto do Litera Braille, são utilizados 3 servomotores na cabeça de impressão, que são responsáveis pela marcação dos pontos do Braille (Subseção 5.2.1). O modelo

¹⁰ Datasheet disponível em: <https://5.imimg.com/data5/PX/UK/MY-1833510/l293d-based-arduino-motor-shield.pdf>

¹¹ Datasheet disponível em: <https://www.digikey.co.th/htmldatasheets/production/1854570/0/0/1/17pm-k-data-sheet.html>

dos servomotores é o MG90S¹², que foi escolhido por possuir engrenagem metálica o que confere maior resistência a esse modelo. O servomotor MG90S trabalha com tensão de alimentação de 4,8V à 6V, e trabalha com torque de 1,8Kgf/cm, quando alimentado com 4,8V, e de 2,2Kgf/cm, quando alimentado com 6V. A velocidade de operação teórica é de 0,1s/60º grau quando alimentado com 4,8V.

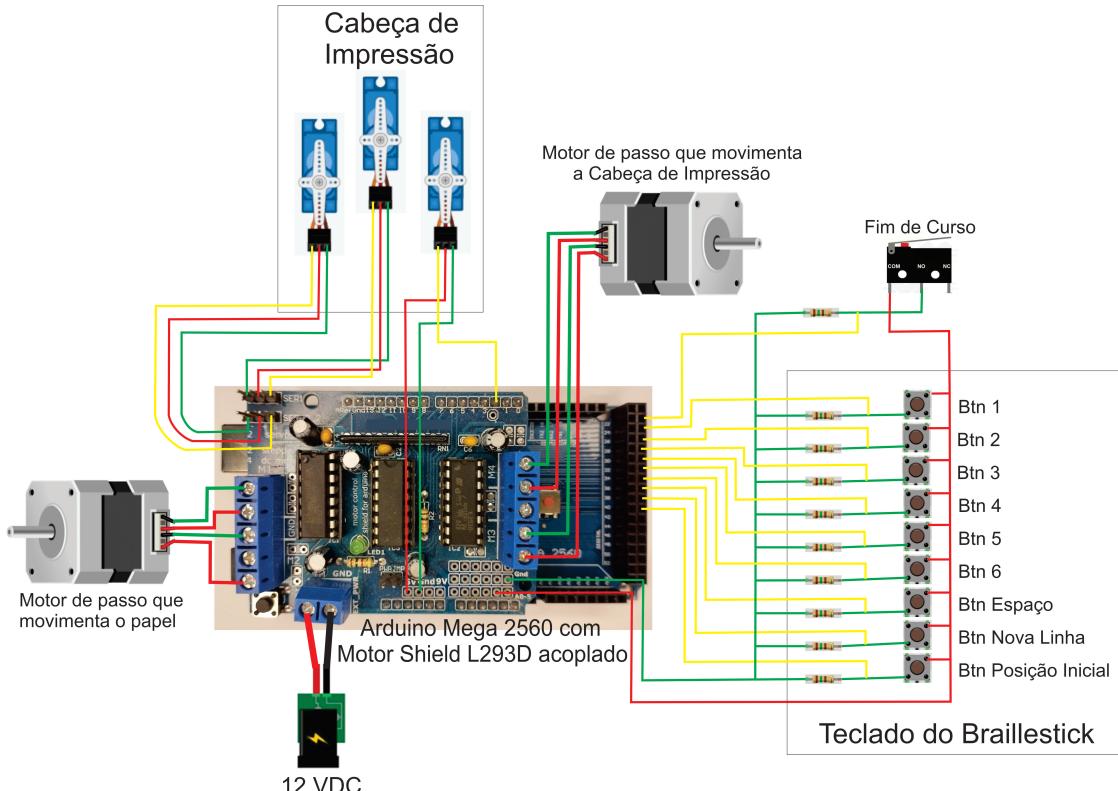


Figura 5.23: Esquema eletrônico da primeira versão funcional do Litera Braille.

A Figura 5.23 mostra o esquema eletrônico do Litera Braille com o *Motor Shield L293D* acoplado ao Arduino Mega 2560; a alimentação de 12V de corrente contínua; os 2 motores de passo responsáveis pela movimentação da cabeça de impressão e do papel; os 3 servomotores da cabeça de impressão; os botões e o fim de curso que enviam sinais de entrada para o Arduino processar e depois controlar os outros equipamentos.

5.2.4 Teste da primeira versão funcional

Após a conclusão do desenvolvimento do primeiro protótipo funcional, foram realizados diversos testes para verificação do funcionamento geral do Litera Braille e individualmente das funcionalidades até então idealizadas e implementadas. Para os testes de funcionamento geral, foram realizadas operações de escrita de caracteres,

¹²Datasheet disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132104/ETC2/MG90S.html>

palavras e frases aleatórias para verificar: (1) o recebimento da digitação das teclas e consequente processamento dos comandos pelo Arduino; (2) a marcação dos pontos da Cela Braille pela cabeça de impressão; (3) as movimentações realizadas pelo motor de passo, responsável por deslocar a cabeça de impressão pelas diversas posições da linha; e (4) as movimentações do motor de passo, responsável por deslocar o papel para a mudança de linha.

Foram realizados também testes para verificar as funcionalidades auxiliares, como as de proceder com o posicionamento inicial do papel inserido na máquina pelo usuário, de espaço e de saltar linha, acionando-as pelos botões específicos das referidas funcionalidades.

Outra avaliação necessária foi em relação à qualidade da marcação dos pontos em relevo no papel. Esta avaliação foi o quesito do desenvolvimento do Litera Braille que mais requereu atenção e ajustes finos, tanto na parte física do dispositivo quanto no código desenvolvido para o Arduino, até que fosse possível alcançar uma qualidade de marcação que permitisse uma legibilidade razoável.

Após essa primeira versão completamente funcional e com as funcionalidades inicialmente idealizadas já implementadas e testadas pelo pesquisador, foi identificado um participante com DV voluntário para realizar os primeiros testes de usuário. De forma similar aos testes realizados pelo pesquisador, o participante foi estimulado a proceder com diversas operações de escrita no dispositivo, além de operações que possibilassem avaliar as funcionalidades auxiliares de posicionamento inicial do papel, de espaço e de saltar linha.

O participante fez diversas observações tanto durante a própria utilização do dispositivo quanto durante uma entrevista não estruturada aplicada após a realização dos testes para receber o *feedback* com as opiniões e sugestões que pudesse levar a melhoria do protótipo inicial do Litera Braille. O participante relatou os seguintes pontos positivos, pontos que precisavam de melhorias e sugeriu a adição das seguintes funcionalidades abaixo elencadas:

- **Pontos positivos enumerados:**

- **Posição dos botões referentes aos pontos da Cela Braille** - O participante registrou que gostou das posições dos botões não alinhados, conforme visto na Figura 5.21. Nesse sentido, os botões referentes aos pontos 2 e 5, que normalmente são utilizados com o dedo médio, não ficam alinhados com os outros 4 botões, facilitando a digitação e o posicionamento dos dedos;
- **Botões de posicionar papel** - Essa funcionalidade foi considerada positiva pelo participante, já que na máquina Perkins esse posicionamento é realizado manualmente pelos usuários;
- **Botão de nova linha** - Outra funcionalidade que foi considerada um avanço é a do botão de nova linha que realiza a operação de retorno

da cabeça de impressão para o início da linha, sem a necessidade de um procedimento manual para a realização de retorno. Na máquina Perkins, por exemplo, o usuário precisa retornar manualmente o cursor para o início da linha, além de pressionar tecla de nova linha;

- **Operação de mudança de linha automática ao chegar ao fim da linha durante a escrita** - O participante também fez elogios para essa funcionalidade, pois a máquina de escrever em Braille tradicional emite um sinal sonoro indicativo de fim de linha, mas a operação de retorno ao início da linha precisa ser realizada manualmente pelo usuário, como visto no item anterior;

- **Pontos de melhorias enumerados:**

- **Diminuir a sensibilidade dos botões** - O participante solicitou a possibilidade de diminuir um pouco a sensibilidade dos botões, pois percebeu que, em alguns casos ao tocar mesmo de leve e sem querer em algum botão, acabava acionando a funcionalidade. Esse fato era prejudicial, sobretudo porque os usuários poderiam deixar os dedos pousados sobre as teclas, acionando os botões referentes aos pontos da Cela Braille inadvertidamente;
- **Melhorar um pouco mais a legibilidade dos pontos marcados** - O participante indicou que alguns pontos estavam ficando pouco legíveis e não bem formados, gerando confusão uns com os outros, ou, em alguns casos, uma marcação maior. Dessa forma, considerou que a marcação dos pontos poderia ser melhorada, garantindo maior legibilidade;

- **Novas funcionalidades sugeridas:**

- **Botão de retroceder** - O participante relatou que considerava importante ter um botão de retroceder para permitir o retorno da cabeça de impressão para uma posição anterior, caso o usuário, por exemplo, tivesse acionado o botão de espaço mais do que gostaria ou caso tivesse a necessidade de refazer a marcação de algum caractere;
- **Botão de apagar um caractere** - O participante também relatou considerar muito importante a existência de um botão que permitisse ao usuário apagar um caractere que, porventura, tivesse sido digitado de forma errada, na tentativa de desfazer a marcação dos pontos em relevo do papel.

As opiniões do participante foram levadas em consideração na tentativa de melhoria do Litera Braille, considerando a evolução da primeira versão funcional do protótipo, principalmente em relação aos pontos de melhorias necessárias e às novas funcionalidades sugeridas. O processo de alteração da versão do Litera Braille para realizar essas melhorias será mais detalhado na Seção 5.3.

5.3 Desenvolvimento da versão atual do Litera Braille

Após o primeiro teste de usuário e com base no *feedback* fornecido, foram realizadas melhorias nas funcionalidades existentes, sobretudo em relação à marcação dos pontos, e foram adicionadas novas funcionalidades conforme sugerido pelo participante e descrito na seção anterior (Seção 5.2). Esses e outros detalhes das melhorias realizadas e das funcionalidades adicionadas são vistos nas subseções seguintes.

5.3.1 Alterações na cabeça de impressão

A principal alteração realizada na cabeça de impressão ocorreu para tentar adicionar ao Litera Braille a funcionalidade de “Apagar” caracteres marcados, que foi uma das solicitações do participante após o primeiro teste de usuário. A forma encontrada na tentativa de realizar esse procedimento foi a adição de um solenoide que, quando acionado, realiza o procedimento de pressionar o papel sobre a peça da base do Litera Braille para “desamassar” os pontos marcados em relevo no papel.

Esse solenoide precisava ficar posicionado o mais próximo possível do local de marcação dos pontos em relevo para que fosse possível posicionar o local da marcação no papel sob o solenoide, com a realização da menor quantidade possível de movimentações do papel e da cabeça de impressão. Dessa forma, projetou-se a fixação do solenoide como uma espécie de apêndice da cabeça de impressão. Na ponta do eixo do solenoide, que é pressionado contra o papel quando é acionado, foi fixada uma peça com dimensões um pouco maiores do que as de uma Cela Braille para que a operação de Apagar pudesse realizar uma pressão sobre todos os pontos marcados do caractere Braille que seria apagado.

Outra preocupação ao adicionar a funcionalidade de Apagar foi a de realizar a menor quantidade possível de alterações na estrutura do Litera Braille, devido à complexidade dessas alterações e ao tempo necessário para a conclusão da pesquisa.

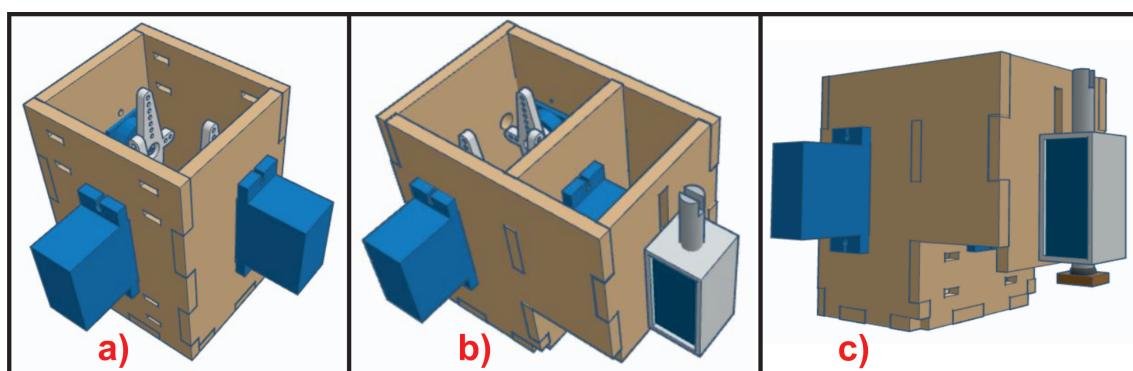


Figura 5.24: Cabeça de impressão do Litera Braille - a) antes das alterações para adicionar a função Apagar; b) após as alterações com ênfase na parte superior; c) ênfase na parte lateral.

A Figura 5.24 mostra, através de imagens em 3D, a diferença entre a cabeça de

impressão antes e depois das alterações realizadas para a adição da funcionalidade de Apagar ao Litera Braille. A imagem “a” mostra como o componente era antes das alterações e as imagens “b” e “c” mostram como o componente ficou depois das alterações, para a inclusão do solenoide que realiza a função de Apagar.

5.3.2 Alterações na estrutura do Litera Braille

Foram realizadas algumas alterações na estrutura do Litera Braille tanto para atender a necessidade de melhoria na marcação dos pontos da Cela Braille, quanto para a adição das funcionalidades de Retroceder e de Apagar mencionadas na Subseção 5.2.4.

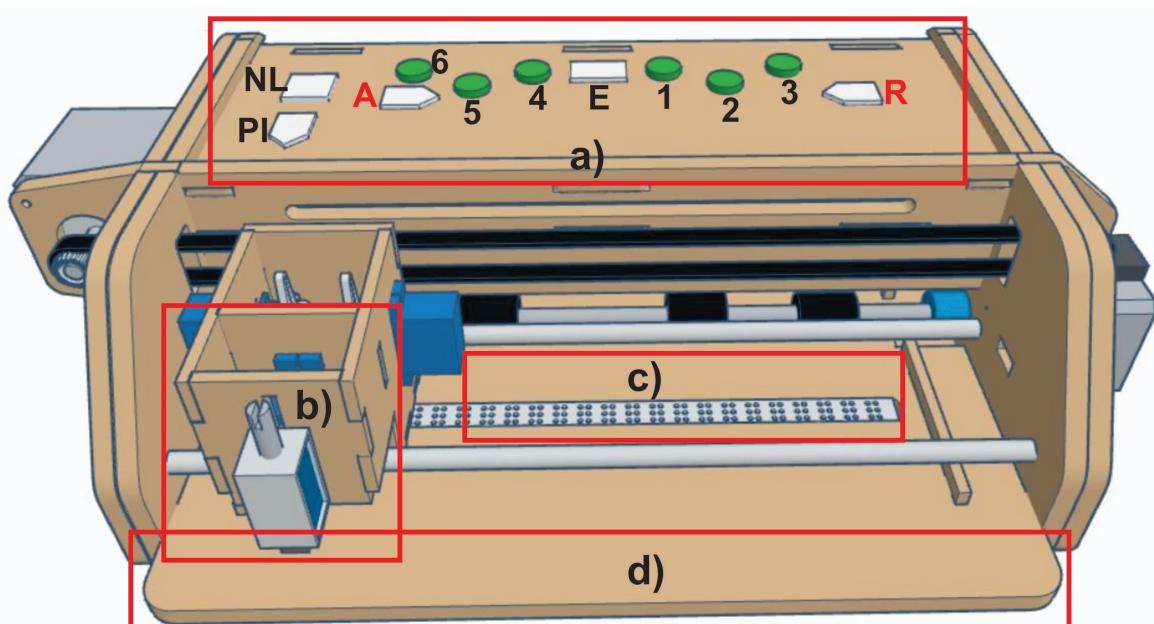


Figura 5.25: Versão alterada do Litera Braille com destaque para as alterações - a) teclado alterado com mudança no layout e inclusão de novos botões para funcionalidades (R = Retroceder; A = Apagar); b) alteração na cabeça de impressão; c) inclusão de linha com Celas Braille; d) ampliação da peça de base.

A Figura 5.25 mostra o Litera Braille depois das alterações realizadas. Em relação à melhoria de legibilidade, foram realizados ajustes tanto no código do Arduino quanto na substituição do emborrachado utilizado como suporte para a marcação dos pontos Braille. O emborrachado precisou ser substituído por uma peça confeccionada em impressora 3D, a qual foi incluída no projeto com o intuito de funcionar, não apenas como suporte para a marcação dos pontos Braille pela cabeça de impressão, como também como molde para delimitar os pontos, permitindo a marcação de pontos mais legíveis. A referida peça confeccionada em impressora 3D pode ser vista nas Figuras 5.25-c e 5.26.

Para adicionar as funcionalidades de Retroceder e de Apagar, foram necessárias alterações no layout do teclado do dispositivo de forma a incluir os botões necessários

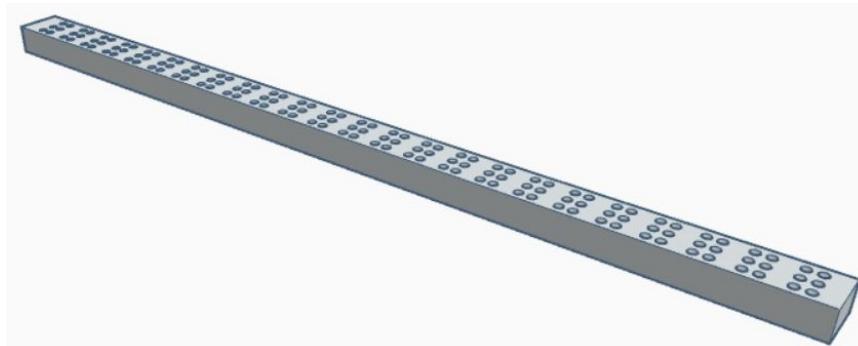


Figura 5.26: Régua de Celas Braille confeccionada em impressora 3D para servir como suporte e molde para a marcação dos pontos pela cabeça de impressão.

para acionar as novas funcionalidades. Os novos botões são mostrados em destaque na 5.25-a, sendo “R” o botão da funcionalidade Retroceder e “A” o botão da funcionalidade Apagar. Na versão anterior do Litera Braille as posições desses botões eram ocupadas respectivamente pelos botões “PI” (Posição Inicial) e “NL” (Nova Linha), como pode ser observado na comparação entre as imagens das 2 versões do Litera Braille na Figura 5.27.

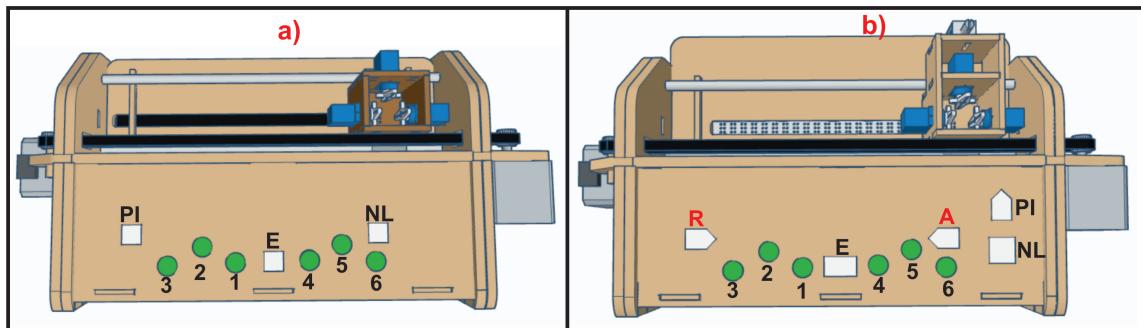


Figura 5.27: Comparaçāo entre versões do Litera Braille - a) versão anterior; b) versão atual.

Outra alteração no teclado foi realizada para tentar melhorar a percepção dos usuários em relação aos botões utilizando o tato. Para isso foram criados formatos diferenciados para os botões de cada função específica. Para os botões referentes aos pontos da Cela Braille, foi mantido o formato circular. O botão “E” da função de Espaço foi alterado para ter um formato retangular. O botão “NL” (Nova Linha) ficou com um formato quadrado maior do que o da versão anterior. Os botões “A” (Apagar), “R” (Retroceder) e “PI” (Posição Inicial) ficaram com formato que lembra uma seta, sendo que para cada função os botões apontam para uma posição diferente.

Para a inclusão da funcionalidade Apagar, além das alterações no teclado do dispositivo, foram necessárias alterações na cabeça de impressão (Figura 5.25-b), conforme detalhado na Subseção 5.3.1, e a ampliação no comprimento de peça da base do dispositivo (Figura 5.25-d) para esta servir como suporte para a função de prensa



Figura 5.28: Litera Braille montado após as alterações.

realizada pelo solenoide fixado na cabeça de impressão. A Figura 5.28 mostra o Litera Braille montado e pronto para ser utilizado após as alterações descritas.

5.3.3 Alterações no esquema eletrônico do Litera Braille

As alterações realizadas no esquema eletrônico do Litera Braille também visaram atender a inclusão das novas funcionalidades identificadas como importantes após os testes de usuário sobre a primeira versão funcional, conforme descrito na Subseção 5.2.4.

A Figura 5.29 mostra o esquema eletrônico do Litera Braille após as alterações mencionadas. Os componentes incluídos para atender a necessidade de inclusão das funcionalidades Retroceder e Apagar ao dispositivo estão em destaque com a utilização de legendas com letras vermelhas na imagem. Como mencionado em subseções anteriores, para a inclusão da funcionalidade Apagar, foi necessário adicionar ao projeto um solenoide que é mostrado na imagem com a legenda “A”. Como o solenoide adicionado é do modelo JF-0530b com alimentação de 12V, para controlar o mesmo utilizando uma porta digital do Arduino que trabalha com tensão de 5V, foi necessário adicionar um componente relé que permite trabalhar com tensões mais altas. O módulo relé utilizado é do modelo SRD-05VDC-SL-C¹³ e trabalha com tensão de até 250V e corrente de até 10A.

Outra alteração necessária foi a inclusão de 2 botões responsáveis pelo acionamento

¹³Datasheet disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1131944/SONGLERELAY/SRD05VDCSLC.html>

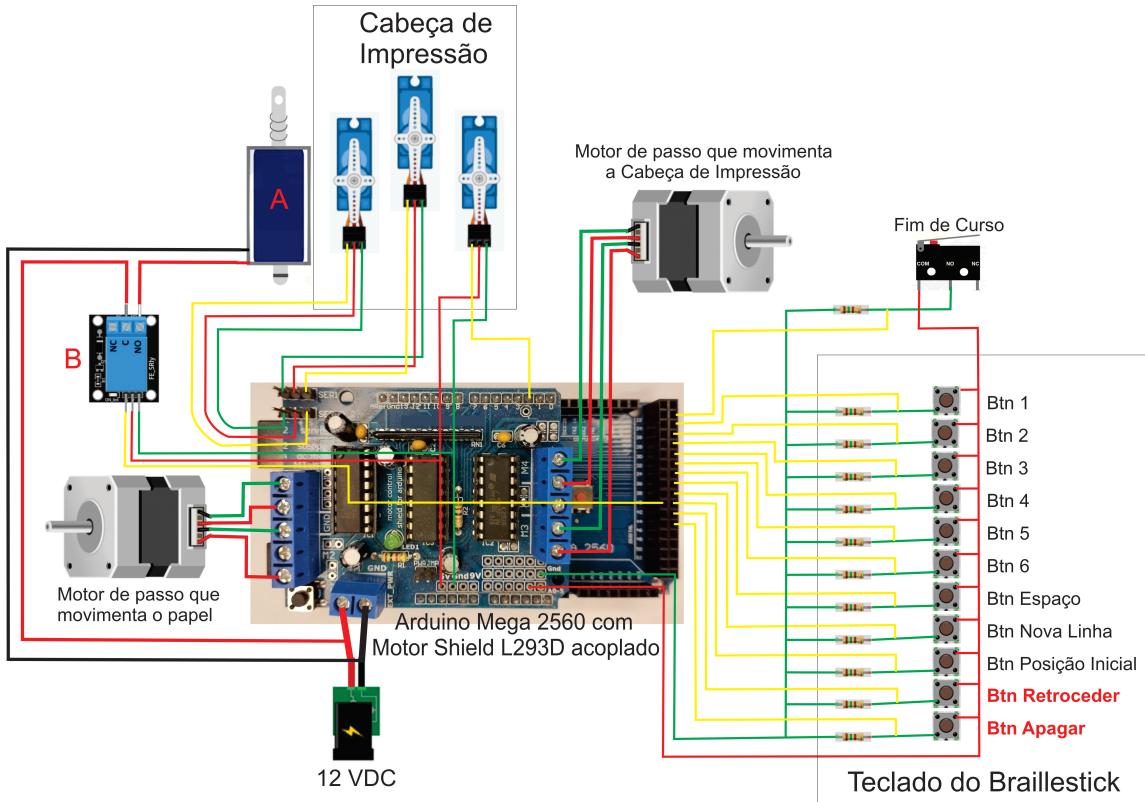


Figura 5.29: Esquema eletrônico do Litera Braille após alterações.

das novas funcionalidades de Retroceder e de Apagar, que na Figura 5.29 estão com as legendas “Btn Retroceder” e “Btn Apagar”, respectivamente.

5.4 Código da Arduino

A programação Arduino é realizada através da API do Arduino, também conhecida como *Arduino Programming Language* (Linguagem de Programação Arduino), a qual consiste em diversas funções, variáveis e estruturas baseadas na linguagem C/C++ e que foi adaptada para permitir a programação necessária para o controle das funcionalidades das versões das placas Arduino (Arduino.cc, 2022b).

Para realizar o controle do Litera Braille, foi desenvolvido um código Arduino (Apêndice I), no qual, no primeiro momento, foi necessário configurar as portas que são utilizadas como entradas para receber os sinais dos botões do *Braillestick* e as portas PWM (Modulação por Largura de Pulso), que são utilizadas como saídas para envio dos sinais de controle dos servomotores da cabeça de impressão, além da configuração necessária para controle dos motores de passo.

Para a configuração e o controle dos Motores de Passo pelo Arduino, com o auxílio do *Motor Shield L293D*, é utilizada a biblioteca “AFMotor.h” da Adafruit Motor (Arduino.cc, 2022a). A configuração dos motores de passo é realizada na declaração

da variável utilizando o tipo estruturado `AF_Stepper` fornecido pela biblioteca e informando, como parâmetros, o número total de passos do motor específico e o canal do *Motor Shield* à qual o motor está ligado. Para o motor de passo utilizado no projeto do Litera Braille, o parâmetro para a quantidade de passos é 200 (Subseção 5.2.3). Em relação ao parâmetro do canal do *Motor Shield*, como este permite controlar até 2 motores de passo, as opções são os valores 1 e 2, sendo 1 para o motor instalado nos conectores do *Motor Shield* marcados com “M1 / GND / M2”, e 2 para os conectores marcados com “M3 / GND / M4”.

No tocante ao controle para a movimentação dos motores de passo, o método normalmente utilizado (`motor.step`) requer como parâmetros o número de passos a serem girados, o sentido da rotação (*FORWARD* ou *BACKWARD*) e o tipo de passo. Para o parâmetro de tipo de passo podem ser definidos os valores preestabelecidos *SINGLE*, *DOUBLE*, *INTERLEAVE* ou *MICROSTEP* (Adafruit, 2012a).

Ao utilizar o tipo *SINGLE*, é ativado apenas 1 bobina do servomotor; para o tipo *DOUBLE*, são ativadas as 2 bobinas ao mesmo tempo, o que aumenta o torque); para o tipo e *INTERLEAVE*, é realizada uma alternância entre os tipos anteriores, garantindo maior precisão, porém perdendo em velocidade; e tipo *MICROSTEP* é o método utilizado para criar um movimento menos marcado entre os passos (Adafruit, 2012b). Para o projeto do Litera Braille, optou-se pelo tipo *INTERLEAVE*, pois a precisão da movimentação é mais importante, nos parâmetros do projeto, do que a velocidade. A precisão da movimentação é essencial, por exemplo, para tentar alcançar melhor padronização no distanciamento entre marcações das Celas Braille.

Para auxiliar a configuração e o controle dos servomotores, utilizou-se a biblioteca “Servo.h” (Arduino.cc, 2022c). Para realizar a configuração dos servomotores, primeiramente é necessário fazer a declaração de variável utilizando o tipo `Servo` fornecido pela biblioteca. Após a declaração da variável, é necessário configurar a porta do Arduino que é utilizada para controlar o componente. Essa configuração é realizada informando o número da porta do Arduino através do método `servo.attach()`. Para o controle das movimentações dos servomotores, utilizou-se o método `servo.write()`, que recebe como parâmetro o valor do ângulo no qual o eixo do servomotor deve ser posicionado. O servomotor utilizado no projeto do Litera Braille (Subseção 5.2.3) possui rotação de 180 graus e é utilizado o parâmetro com valor 90 para marcar a posição central. Para a movimentação para a esquerda, por exemplo, informa-se um valor menor que 90.

Após essa primeira etapa de configurações iniciais, a placa Arduino fica preparada para receber os sinais das teclas pressionadas pelo usuário e controlar as funcionalidades necessárias para o processo de marcação dos caracteres na folha de papel e outras funções auxiliares, tais como: comandar os servomotores da cabeça de impressão para marcação dos pontos da Cela Braille; posicionamento da referida cabeça de impressão para marcação do próximo caractere na linha; movimentação da folha de papel para posicionamento de próxima linha, caso tenha sido pressionado o botão de linha ou tenha atingido o final da linha anterior; e comando que realiza o

posicionamento inicial da folha de papel.

Para cada funcionalidade do Litera Braille foi criado um método específico, além de terem sido criados métodos auxiliares para tornar a programação mais clara, legível e com maior facilidade para manutenção e evolução. As funções ou métodos criados são relacionados a seguir:

- void lerBotoes();
- bool verificaBotaoPressionado();
- bool verificaBotaoStatusAtivo();
- void marcarPontos();
- void posicionarProximoCaractere();
- void posicionarProximaLinha();
- void retornarPosicaoCaractereAnterior();
- void apagarCaractere();
- void posicionarInicioLinha();
- void puxarNovaPagina();
- void resetarStatus();

Analizando o código para a função principal do Litera Braille, o código do Arduino executa o método lerBotoes() dentro do método Loop() (método principal do código Arduino) para registrar quando o usuário acionar teclas do dispositivo. Caso identifique um ou mais botões referentes aos pontos Braille acionados, registra o status desses botões e, com a colaboração dos métodos auxiliares verificaBotaoPressionado() e verificaBotaoStatusAtivo(), aguarda até que todos os botões tenham sido liberados para passar a realizar a operação de marcação dos pontos com o método marcarPontos(). Esse procedimento de apenas concluir o acionamento dos botões após todos os acionados serem liberados é essencial para que se garanta a formação adequada dos caracteres, caso contrário o dispositivo marcaria pontos individuais ao invés do conjunto de pontos.

Após a marcação realizada, o Arduino controla o motor responsável pelo deslocamento da cabeça de impressão para a próxima posição com o método posicionarProximoCaractere(), método este que é utilizado também caso o botão acionado seja o da função Espaço. Caso seja identificado que chegou ao fim da linha (que foi calculado em 22 caracteres com base no distância máxima de deslocamento da cabeça de impressão em relação ao espaço de uma Cela Braille e os espaços entre elas), o sistema aciona o método posicionarProximaLinha(), método este que também é chamado quando o usuário aciona o botão da funcionalidade “Nova Linha”. Caso seja identificado o final da folha, cujo espaço útil de escrita foi calculado em

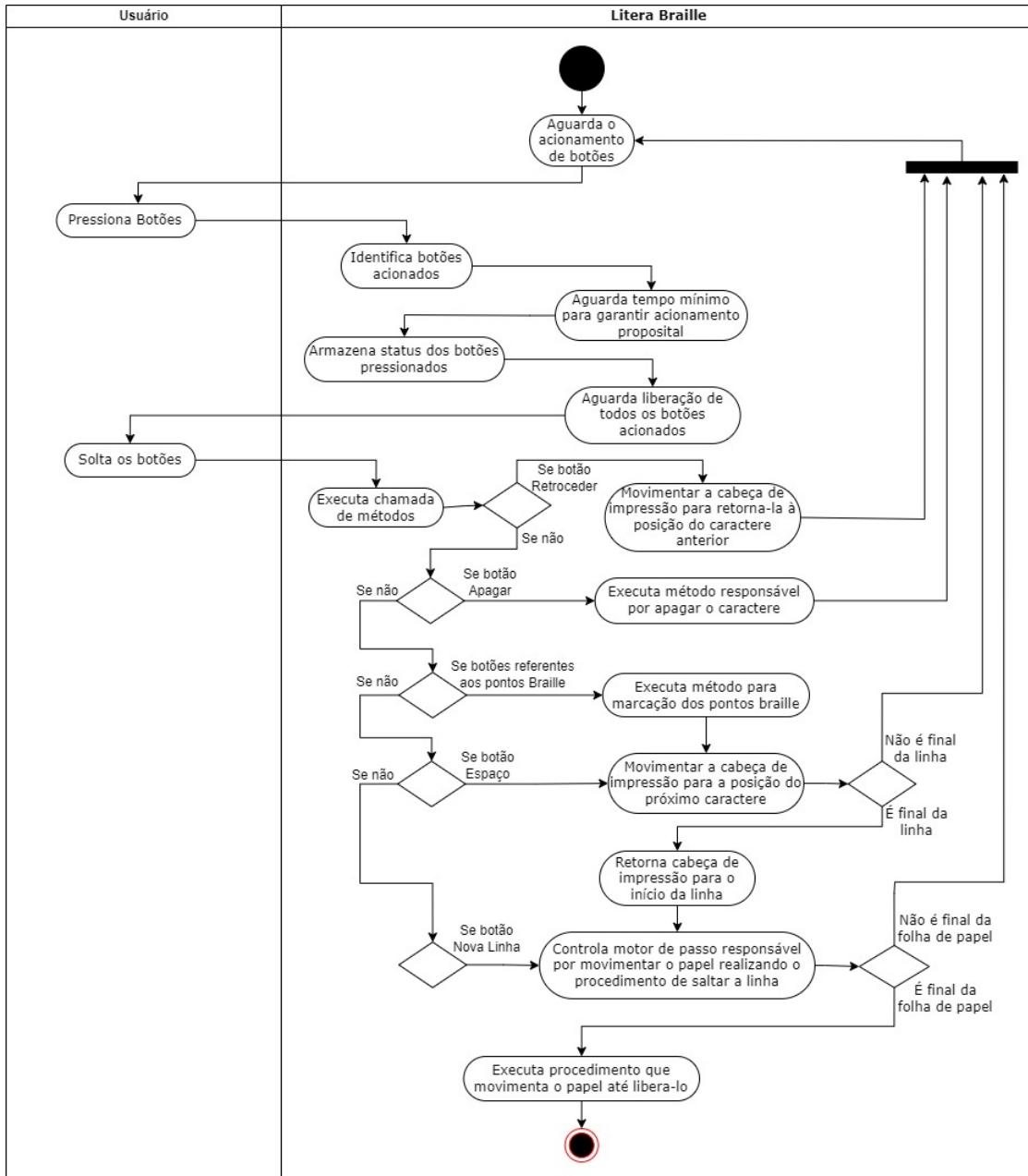


Figura 5.30: Diagrama de Atividades do Litera Braille

15 linhas, é realizado o procedimento de liberação desta para que o usuário possa inserir uma nova folha e continuar sua digitação.

A Figura 5.24 mostra o exemplo de um Diagrama de Atividades do Litera Braille referente à função de digitação de caracteres, demonstrando interação do usuário com o dispositivo e entre os componentes deste. O usuário utiliza o teclado do *Braillestick*, podendo pressionar as teclas necessárias para a formação de um caractere Braille, por exemplo, as teclas 1 e 2 para formar a letra “B” em Braille. Ao pressionar as teclas mencionadas, o Arduino registra o referido acionamento e controla os com-

ponentes responsáveis pelas marcações dos caracteres no papel, conforme descrito no parágrafo anterior.

Os métodos retornarPosicaoCaractereAnterior() e apagarCaractere() foram implementados para atender a atualização do Litera Braille descrita na Seção 5.3. Além das alterações realizadas no código para a inclusão das novas funcionalidades, foram realizados ajustes no código para realização das melhorias identificadas. Para a redução da sensibilidade dos botões foi realizada alteração no código do Arduino de modo a adicionar um tempo mínimo de 100 milissegundos com o botão pressionado para que ocorra o acionamento das funcionalidades. Esse tempo foi testado para se alcançar um valor que diminuísse a sensibilidade para o acionamento do botão, mas que não fosse excessivo de modo a tornar os botões difíceis de serem acionados ou causar lentidão ao dispositivo.

5.5 Avaliação do Litera Braille

Nesta Seção, são apresentadas as avaliações do Litera Braille referentes ao levantamento de custo para a montagem do dispositivo, às verificações de funcionamento geral e de velocidade, assim como as avaliações realizadas com os participantes da pesquisa.

5.5.1 Avaliação de Custo

A avaliação do custo para a construção do Litera Braille tem o objetivo validar se o custo para a replicação do dispositivo permite considerá-lo de baixo custo, desconsiderando o tempo dessa pesquisa, possível patente e o investimento intelectual necessário durante o processo. Nesse sentido, foi feito um levantamento dos preços de todos os componentes utilizados para a construção desse dispositivo.

O preço dos componentes necessários à construção do Litera Braille encontra-se detalhado no Apêndice J. O referido orçamento foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, foi levantado o preço dos equipamentos e partes necessárias para a montagem da primeira versão funcional do dispositivo e cujos itens se encontram enumerados no Apêndice J com os números de 01 a 16. O item 17 (Chave Tátil *Push Button* com capa) também já existia na primeira versão do orçamento, porém com a quantidade de 09 unidades, que precisou ser aumentada para 11 devido ao acréscimo de 2 botões para as novas funções adicionadas.

Os itens 18 e 19 foram incluídos para atender à adição de funcionalidades da versão atual do Litera Braille. Os itens 20 e 21 se referem ao custo da estrutura em MDF cortado a laser que está com um preço médio referente à pesquisa de mercado realizada, no período em que este trabalho foi desenvolvido, em 3 empresas especializadas nesse tipo de serviço que atuam na cidade de Feira de Santana. Esse serviço, embora orçado, não foi necessário para o desenvolvimento dessa pesquisa, pois os cortes a laser foram realizados através de parceria com o campus CETENS - Centro

de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade da UFRB - Universidade Federal do Recôncavo Baiano.

Conforme observado no Apêndice J, o custo total para montar o Litera Braille foi de R\$ 650,00, podendo esse valor variar a depender do local de aquisição dos componentes assim como do período, principalmente em função do preço de muitos dos componentes eletrônicos estarem diretamente relacionados ao valor do dólar.

Como visto anteriormente na Seção 1.1 da Introdução, o preço para um usuário adquirir uma máquina de escrever em Braille comercial no Brasil é de no mínimo R\$ 5.000,00, na data atual. Fazendo a comparação, o custo de replicação do Litera Braille é de aproximadamente 13% do custo para aquisição da máquina de escrever em Braille comercial mais barata. Se comparado com o preço médio de R\$ 10.000,00 para aquisição de uma máquina Perkins tradicional, o custo para replicação do Litera Braille cai para aproximadamente 6,5%.

Comparando o custo do Litera Braille com o de outros dispositivos de Braille apresentados nas pesquisas de Suzukawa (2010), Chowdhury et al. (2018) e Zeineddine et al. (2020), entende-se que o Litera Braille consegue atender ao requisito de dispositivo de TA de baixo custo. Suzukawa (2010) calculou o custo da impressora desenvolvida em sua pesquisa à época em aproximadamente R\$ 1.014,00. Chowdhury et al. (2018) apontaram o custo para produção da impressora desenvolvida em aproximadamente 150 dólares à época, o que em câmbio atual equivale a aproximadamente R\$ 740,00; e Zeineddine et al. (2020) desenvolveu um teclado Braille (apenas dispositivo de entrada) a um custo aproximado de 182 dólares à época que, em câmbio atual, equivale a aproximadamente R\$ 902,00. Nesse paralelo, o Litera Braille pode ser considerado um dispositivo mais completo do que os anteriores (com interface de entrada por botões e saída impressa em papel) e, portanto, mais acessível ao público interessado, considerando o valor atual de uma máquina Braille comercial em contraponto ao valor de produção do Litera Braille.

5.5.2 Avaliação Funcional e de Velocidade

A avaliação funcional do Litera Braille visou testar o funcionamento geral do dispositivo, considerando: (a) a comunicação da interface de entrada (teclado) com Arduino; (b) o controle do Arduino sobre os componentes das partes responsáveis pela impressão dos caracteres Braille (interface de saída) e de movimentação do papel; (c) a verificação do adequado funcionamento sincronizado dos componentes responsáveis pela impressão e, principalmente, (d) a verificação da marcação dos pontos da Cela Braille de acordo com os padrões para produção de textos em Braille, conforme normas técnicas (Brasil, 2018; ABNT, 2020) vistas na Seção 2.3.

Na Figura 5.31, podem ser observados exemplos de Celas Braille marcadas pelo Litera Braille. As marcações ficaram com pontos de aproximadamente 1,5mm de diâmetro e distanciamento de aproximadamente 2,7mm entre os centros dos pontos, valores que atendem aos requisitos estabelecidos na norma da ABNT. O distanciamento

mento do primeiro ponto de uma cela para o primeiro ponto da cela vizinha ficou em aproximadamente 7,5mm, um pouco maior do que o estabelecido na ABNT que é de 6,6mm. Preferiu-se manter essa distância de 7,5mm como forma de proporcionar um maior conforto na leitura tátil, já que o diâmetro dos pontos não ficou com o valor mínimo estabelecido pela referida norma.

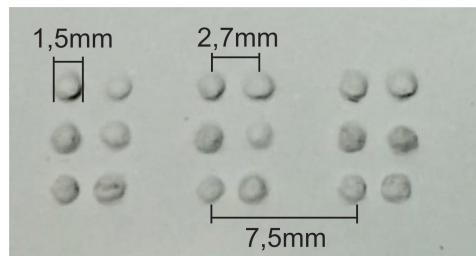


Figura 5.31: Marcações realizadas pelo Litera Braille.

Também foram realizadas pelo pesquisador análises referentes à velocidade do dispositivo com base no tempo médio para escrever caracteres em operações com e sem salto de linha, assim como o tempo médio para realizar a operação de saltar linha. Para todos os testes realizados para avaliação de velocidade, foram cronometrados os tempos de 3 tentativas e calculada a média entre eles. Esses valores de velocidade calculada não foram utilizados como parâmetro para avaliação de velocidade do Litera Braille pelos participantes, pois, como os usuários estavam tendo o primeiro contato com o dispositivo, com tempo limitado para conhecê-lo e testá-lo, a aferição de velocidade cronometrada seria impactada por serem noviços na utilização do equipamento. Dessa forma, a avaliação dos participantes em relação à velocidade do Litera Braille foi qualitativa, como parte do instrumento de avaliação aberta (Subseção 5.5.5), através de suas percepções.

Para a escrita de caracteres sem o salto de linha, foi escolhida uma palavra considerada grande no idioma português e cuja quantidade de caracteres conseguisse se aproximar da quantidade máxima de caracteres possível de escrever em uma linha do Litera Braille que é de 22 caracteres. Dessa forma, a palavra “otorrinolaringologista” foi escolhida por contar com 22 letras, mesma quantidade de caracteres disponíveis em uma linha do dispositivo.

Para que a dificuldade em escrever a palavra selecionada interferisse menos possível no teste da velocidade do dispositivo, foi realizado treino de escrita da palavra por algumas vezes antes de realizar o teste cronometrado. Para a primeira tentativa cronometrada, alcançou-se um tempo de 31,52 segundos; na segunda, de 32,17 segundos e na terceira, 30,79 segundos. A média entre as 3 tentativas ficou em aproximadamente 31,49 segundos. Como a palavra escrita tem 22 caracteres, a velocidade média alcançada para esse teste foi de 1,43 segundos por caractere.

Para a escrita de caracteres com salto de linha no processo de escrita foi escolhida a frase “Existem várias formas de ler o mundo” retirada de imagem (Figura 5.32) publicada em página do Ministério Público do Estado da Bahia no dia 08 de abril



Figura 5.32: Imagem de livro com a frase “Existem várias formas de ler o mundo” na página do lado direito. Na página do lado esquerdo, a mesma frase escrita em Braille.

de 2019 em homenagem ao “Dia Nacional do Braille”¹⁴. Trata-se de uma frase curta, com 7 palavras e cuja divisão de linhas foi reorganizada para ocupar 3 linhas, conforme segue abaixo. Em Braille, essa frase ficou com 35 caracteres ao considerar, além das 30 letras e 4 espaços, o caractere representativo de início de frase com letra maiúscula, sendo 17 caracteres na primeira linha (13 letras, 1 espaço e o carácter representativo de início de frase com letra maiúscula), 13 caracteres na segunda linha (11 letras e 2 espaços) e 7 caracteres na terceira linha (6 letras e 1 espaço).

“Existem várias
formas de ler
o mundo”

Para a frase supracitada, também são executadas 2 operações de mudança de linha (da primeira linha para a segunda e desta para a terceira) nas quais o dispositivo realiza as operações de retornar a cabeça de impressão para o início da linha e movimentar o papel de modo a posicioná-lo na próxima linha.

Seguindo a mesma lógica descrita para o teste sem mudança de linha, na pri-

¹⁴<https://www.facebook.com/mpdabahia/photos/se-voc%C3%AA-falar-com-um-homem-numa-linguagem-que-ele-compreende-isso-entra-na-cabe%C3%A7/2187791811310342/>

meira tentativa cronometrada alcançou-se um tempo de 53,45 segundos; na segunda, atingiu-se o tempo de 52,74 segundos e na terceira, 53,12 segundos. A média entre as 3 tentativas ficou em aproximadamente 53,10 segundos. Como a frase escrita tem 35 caracteres, a velocidade média alcançada para esse teste foi de 1,51 segundos por caractere. Vale ressaltar que, como a frase utilizada nesse teste tem 2 operações de mudança de linha, essa operação acaba influenciando o tempo total para a escrita da frase.

O tempo médio para mudança de linha, que inclui o retorno da cabeça de impressão para a posição inicial e a movimentação do papel para a próxima linha, também foi calculado levando em consideração tanto um deslocamento com a cabeça de impressão posicionada no final da linha em um teste, quanto iniciando em uma posição equivalente à metade da linha em um segundo teste. Este segundo teste está sendo considerado devido ao fato de a formação da frase utilizada no teste anterior requerer um deslocamento para cada linha da frase, em média, da metade do espaço disponível para uma linha no dispositivo.

Para o teste do tempo de mudança de linha iniciando o procedimento com a cabeça de impressão na posição central, foi cronometrado, para a primeira tentativa, o tempo de 1,69 segundos; na segunda tentativa, 1,67 segundos e na terceira, 1,72 segundos, alcançando um tempo médio de aproximadamente 1,69 segundos.

Para o teste de mudança de linha iniciando com a cabeça de impressão posicionada ao final da linha, foi cronometrado, para a primeira tentativa, o tempo de 2,63 segundos; na segunda, de 2,56 segundos e na terceira, 2,58 segundos, alcançando um tempo médio de aproximadamente 2,59 segundos.

Essa avaliação de velocidade é importante para demonstrar o avanço da pesquisa do Litera Braille em relação a outras pesquisas predecessoras e servir de base de comparação para trabalhos futuros que vierem a propor melhorias ao dispositivo. Trabalhos correlatos como os de Chowdhury et al. (2018) e Apurva et al. (2017), que propuseram impressoras Braille de baixo custo, alcançaram média de 2,5 segundos e 2 segundos por caracteres, respectivamente (e por serem impressoras não necessitavam do tempo para a digitação). Outros trabalhos correlatos (Capítulo 3) não realizaram procedimento de aferição de velocidade.

5.5.3 Avaliação de Usabilidade

Para a avaliação de usabilidade, foi utilizado o questionário AUS - *Accessibility Usability Scale* (Apêndice G), conforme detalhado na Subseção 4.3.2 do Capítulo Metodologia. A Tabela 5.2 demonstra as respostas dos participantes do estudo de caso aos quesitos do referido questionário. Para identificação dos participantes está sendo utilizada a padronização descrita na Seção 4.3.1. As questões do questionário também são identificadas utilizando uma codificação (por exemplo, Q-1 para representar a Questão 1).

Tabela 5.2: Respostas dos participantes ao questionário de usabilidade. Descrição alternativa da tabela pode ser encontrada no Apêndice A

Participante	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4	Q-5	Q-6	Q-7	Q-8	Q-9	Q-10
P-1	5	2	4	1	5	2	5	1	5	3
P-2	5	1	5	1	5	3	5	1	5	3
P-3	5	3	5	2	5	2	3	1	5	1
P-4	5	2	5	2	5	1	5	1	5	1
P-5	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
P-6	3	1	5	2	5	1	5	1	5	1
P-7	5	3	3	2	5	1	5	3	5	1
P-8	5	4	2	1	5	1	5	4	4	2
P-9	5	1	5	1	5	3	5	1	5	1
P-10	5	1	4	1	5	1	5	1	4	1

Observou-se uma avaliação positiva dos participantes em relação ao dispositivo, possuindo avaliações com valores mais altos para os quesitos ímpares (que representam afirmações positivas sobre o dispositivo) e valores baixos nos itens pares (que representam afirmações positivas) (ver Subseção 4.3.2). Para o cálculo da pontuação de usabilidade a partir das avaliações dos usuários, conforme explicitado na subseção mencionada, o AUS segue a metodologia do SUS - *System Usability Scale*. A Tabela 5.3 demonstra os valores de pontuações obtidas a partir do cálculo realizado sobre os valores das avaliações dos participantes para cada item do questionário aplicado, além da média geral da avaliação do dispositivo e o desvio padrão.

Tabela 5.3: Pontuação dos quesitos em relação às respostas dos participantes. Descrição alternativa da tabela pode ser encontrada no Apêndice A

Analisando as notas de usabilidade do Litera Braille calculadas com base na metodologia do instrumento AUS, foi observado notas positivas para todos os quesitos. Chamou a atenção, porém, a pontuação final alcançada no quesito (Q-5) cuja afirmação era “Achei que as funções do dispositivo faziam sentido e eram compatíveis com a finalidade do mesmo”, tendo sido o quesito que alcançou a maior pontuação (100 pontos), obtendo nota máxima na avaliação de todos os participantes. A avaliação unânime em relação a esse item demonstra, de um modo geral, as funcionalidades do dispositivo e que, para os participantes, estas se assemelhavam a uma máquina de escrever em Braille.

Em contrapartida, as questões (Q-2) “Achei o dispositivo muito complexo” e (Q-3) “Achei o dispositivo fácil de usar”, obtiveram, respectivamente, pontuações 78 e 83, inferiores às demais. Estas pontuações refletem, não só a possível necessidade de melhorias no dispositivo, como também o fato de ter sido o primeiro contato e experiência dos usuários com o Litera Braille. A falta de contato contínuo impacta na habilidade de uso e possivelmente nas avaliações dos usuários. Ampliar o uso do dispositivo e realizar novas avaliações também são possíveis atividades futuras.

Ao analisar as verbalizações que os participantes expressaram durante a aplicação do instrumento e da realização das entrevistas, foi possível notar que o principal ponto que levou alguns deles a darem notas mais baixas foi em relação à posição dos botões relativos aos pontos Braille, em especial o P-8 que deu nota 1 nos itens e que expressou que o ideal seria “as teclas seguirem uma linha reta. Seria bom ter um destaque maior e estarem mais afastadas”. Essas avaliações qualitativas serão melhor detalhadas na Seção 5.5.5. Esse tipo de nota mais discrepante em relação às da maioria acaba tornando a pontuação do item um pouco mais baixa e influenciando no valor de desvio padrão de alguns itens em relação à média (Tabela 5.3).

Dessa forma, sintetizando da avaliação de usabilidade realizada a partir da utilização do instrumento AUS na Tabela 5.3, pode-se notar que o Litera Braille obteve uma avaliação média de 89,5 pontos. De acordo com Lewis and Sauro (2018), uma pontuação acima de 80 pontos demonstra uma experiência acima da média, um objetivo normalmente almejado pelas empresas em relação a seus produtos. Segundo Lewis and Sauro (2018) apud Santana (2021), “pontuações entre 84,1 e 100 demonstram uma nota A+, sendo considerada uma nota excelente de aceitação de usabilidade dos produtos” (Santana, 2021, p. 62).

5.5.4 Avaliação de Experiência do Usuário

Para a avaliação de experiência do usuário (EU), como visto na Subseção 4.3.2, foi utilizado o instrumento UEQ-S (Apêndice F), proposto por Schrepp et al. (2017) e que se trata de uma versão reduzida do *UEQ-User Experience Questionnaire*. Após a coleta dos dados da pesquisa com os participantes, foi possível realizar a análise através da ferramenta de análise de dados disponibilizada pelos próprios autores do UEQ-S.

A Tabela 5.4, gerada pela ferramenta, sintetiza as informações em relação aos 8 itens do instrumento. Com a utilização de técnicas de estatística descritiva, a tabela fornece informações de média alcançada para cada item, de variância, desvio padrão e quantidade de respostas coletadas. Além de dados objetivos, para deixar a interpretação mais clara, a tabela apresenta as informações das características opostas, positiva e negativa, que compõem os itens e a classificação em relação à qual escala de qualidade avaliada (pragmática ou hedônica) o item pertence. Pelas informações sintetizadas na tabela, é possível observar que a avaliação do Litera Braille obteve valores positivos, com médias acima de 2,2 (de valores que podem variar de -3 a +3) para todos os itens.

Tabela 5.4: Tabela de sintetização dos dados das avaliações dos participantes com o UEQ-S.

Item	Média	Variância	D. Padrão	Quant.	Negativa	Positiva	Escala
1	2,7	0,5	0,7	10	Obstrutivo	Condutor	Qualidade Pragmática
2	2,5	0,3	0,5	10	Complicado	Fácil	Qualidade Pragmática
3	2,7	0,5	0,7	10	Ineficiente	Eficiente	Qualidade Pragmática
4	2,6	0,9	1,0	10	Confuso	Evidente	Qualidade Pragmática
5	2,2	1,7	1,3	10	Aborrecido	Excitante	Qualidade Hedônica
6	3,0	0,0	0,0	10	Desinteressante	Interessante	Qualidade Hedônica
7	3,0	0,0	0,0	10	Convencional	Original	Qualidade Hedônica
8	3,0	0,0	0,0	10	Comum	Vanguardista	Qualidade Hedônica

A maior divergência de opiniões entre os participantes ocorreu em relação ao item 5 (Aborrecido x Excitante) do UEQ-S, com 7 participantes (70% do total) avaliando com nota 7 (+3 na escala padronizada) e 3 participantes avaliando com notas 4 e 5 (respectivamente 0 e +1 na escala padronizada), o que ocasionou os maiores valores de variância e desvio padrão, ainda que a média do item tenha se mantido boa. Os demais itens relativos à qualidade hedônica (6, 7 e 8), que se refere à satisfação no uso, obtiveram notas máximas de todos os participantes. Já os itens referentes à qualidade pragmática (1 a 4) tiveram boas notas, porém um pouco mais baixas em comparação com a maioria dos itens da qualidade hedônica. Como a qualidade pragmática se refere à facilidade de uso do dispositivo, esse resultado é condizente com o resultado que foi analisado na Seção 5.5.3, principalmente em relação às observações feitas sobre os quesitos Q-4 e Q-5.

A Figura 5.33 apresenta um gráfico com as médias obtidas em todos os itens do UEQ-S, separando-os por cor, sendo azul para os 4 primeiros itens, que se referem à qualidade pragmática, e amarelo os 4 últimos itens, que dizem respeito à qualidade hedônica.

Por fim, a Tabela 5.5 resume o valor calculado pela ferramenta de análise do UEQ-S para as 3 medidas utilizadas no instrumento de pesquisa: qualidade pragmática e qualidade hedônica e qualidade geral, que sintetiza as outras duas.



Figura 5.33: Médias por item do UEQ-S.

Tabela 5.5: Tabela de resumo do UEQ-S.

Escalas do UEQ-S	
Qualidade Pragmática	↑ 2,625
Qualidade Hedônica	↑ 2,800
Qualidade Geral	↑ 2,713

As pontuações elevadas obtidas na avaliação de experiência demonstram uma aceitação dos participantes em relação ao Litera Braille, tanto em relação às funcionalidades e utilidade do dispositivo (qualidade pragmática) quanto em relação à sensação de bem estar e satisfação no uso deste (qualidade hedônica), o que reflete em uma ótima avaliação de qualidade geral da experiência do usuário.

5.5.5 Avaliação Aberta com os Participantes sobre utilidade e qualidade do Litera Braille

Para essa avaliação, foi utilizado o instrumento (Apêndice H) formado precipuamente por questões abertas para nortear a realização de entrevista semiestruturada com os participantes (Subseção 4.3.3). A aplicação deste instrumento teve o objetivo de complementar a avaliação do Litera Braille em relação aos parâmetros de utilidade, acessibilidade e usabilidade, com opiniões abertas dos participantes, e também em relação às peculiaridades específicas do dispositivo que não seriam contempladas nos instrumentos selecionados como o AUS e o UEQ-S.

Os dados das entrevistas foram analisados com métodos qualitativos, utilizando a categorização por temática. Dentre os quesitos apresentados aos participantes, os primeiros solicitaram opiniões sobre pontos fortes e fracos do Litera Braille, para que as respostas pudessem subsidiar possíveis melhorias em trabalhos futuros.

Em relação aos pontos positivos apontados pelos participantes na avaliação do Litera Braille, destacam-se os elogios feitos à utilidade e à praticidade do dispositivo, às funcionalidades auxiliares como saltar linha e de apagar, além das características de ser um dispositivo mais leve, mais silencioso e com botões mais suaves do que a máquina Perkins. A seguir são elencadas algumas falas dos participantes utilizando a codificação descrita na Seção 5.1 para identificá-los.

Algumas falas retratam as opiniões em relação à utilidade e à praticidade do dispositivo, tais como: “facilita muito o manuseio e a vivência com o Braille” (P-1); “precisa existir uma máquina como esta, mais prática” (P-7) e “muito útil” (P-9).

Quanto às funcionalidades auxiliares foram destacadas falas que relatam que o dispositivo tem “Boas funcionalidades” (P-6) e outras observações como “O botão de pular linha que já volta o marcador para o início da linha sozinho é muito interessante” (P-3) e que identificam como positivas funções como “botão de posicionar o papel sem nem precisar ajustar a margem” (P-9).

Quanto às características de “dispositivo mais leve”, “menos barulho”, “suavidade dos botões” e “menor custo” foram observadas falas que relatam “Menos força para digitar” (P-1), “Parece teclas de computador” (P-4), “Mais leve e fácil de andar com ela” (P-5), “Gostei do peso e do tamanho” (P-6), “Melhor em relação ao barulho” (P-2), “Se ficar barato, vai ser muito bom para a acessibilidade” (P-6) e “muito importante, principalmente porque as pessoas que precisam não conseguem comprar uma máquina Perkins tão cara” (P-10).

A partir desses principais pontos identificados nas falas dos participantes em relação às qualidades do Litera Braille, foi realizada uma análise temática através da organização de um quadro de frequência de citações sobre as categorias emergentes, quadro este que é demonstrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Categorização das opiniões positivas sobre o Litera Braille.

Categoria: Pontos Positivos do Litera Braille	
Temas	Frequência
Utilidade e praticidade do dispositivo	23
Leveza dos botões	20
Leveza do dispositivo e facilidade para transportar	18
Funcionalidades auxiliares	11
Menos barulho	6
Menor custo	5

Analizando a frequência demonstrada na Tabela 5.6, observa-se que a maior frequência ocorreu em falas que remetem à utilidade e à praticidade do Litera Braille. Para a avaliação específica de utilidade, foi incluído um quesito de questão fechada na entrevista para que os participantes pudessem responder utilizando uma escala *Likert* variando de 1 (inútil) à 5 (útil). Observa-se, pelo gráfico da Figura 5.34, que todos

os participantes opinaram com nota máxima em relação ao quesito de utilidade do Litera Braille.

Em relação aos pontos de melhoria relatados pelos participantes na avaliação do Litera Braille, os principais dizem respeito à legibilidade e à velocidade, com falas tais como: “melhorar um pouco a legibilidade” (fala do P-8) e “Seria bom tornar ela um pouco mais rápida” (P-9). Além desses pontos, deram sugestões referentes a alinhar os botões relacionados aos pontos Braille, observadas através de falas como “Seria bom que os botões dos pontos fossem alinhados” (P-4), e para criar uma forma de identificação dos botões, por exemplo, com símbolos Braille referente a uma sigla para cada tecla do dispositivo: “Se possível, seria bom ter um código ou uma forma de identificar as teclas auxiliares” (P-9).



Figura 5.34: Gráfico de respostas ao quesito de utilidade do dispositivo.

Uma observação a ser registrada é que, diferente do participante que fez o teste da primeira versão funcional do Litera Braille (Subseção 5.2.4) e que elogiou a questão dos botões referentes aos pontos 2 e 5 estarem desalinhados dos demais, na avaliação da versão atual, após as alterações, que foi realizada com uma quantidade maior de usuários, 5 participantes sugeriram voluntariamente (não havia pergunta da entrevista especificamente em relação ao referido alinhamento) que os botões ficassem alinhados em versões futuras do dispositivo.

Dentre os principais pontos de melhoria identificados nas falas dos participantes, emergiram as categorias temáticas elencadas na Tabela 5.7 que sintetiza a frequência com a qual os participantes se pronunciaram sobre os temas durante as entrevistas.

Para as duas categorias da Tabela 5.7 que obtiveram maior frequência de comentários dos participantes, que são os dos parâmetros de velocidade e legibilidade, existiam questões específicas sobre os temas no instrumento utilizado para a realização das entrevistas (abertas e fechadas), pois havia sido identificada pelos pesquisadores a necessidade de avaliação específica sobre esses itens (ver Subseção 4.3.3). As questões fechadas utilizaram uma escala *Likert* variando de 1 à 5, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 5.35.

De forma condizente com a análise qualitativa das opiniões dos participantes demonstrada pela Tabela 5.7, nota-se que os quesitos de legibilidade e velocidade receberam

Tabela 5.7: Categorização das opiniões sobre pontos de melhorias no Litera Braille.

Categoria: Pontos de Melhoria do Litera Braille	
Temas	Frequência
Melhorar legibilidade	17
Melhorar velocidade	10
Alinhar botões referentes aos pontos Braille	5
Identificação das teclas	4

muitas avaliações intermediárias na avaliação objetiva, ainda que na média a avaliação desses itens possa ser considerada positiva. Dessa forma, considera-se que esses são pontos importantes de melhoria a serem observados para o desenvolvimento de versões futuras do Litera Braille.



Figura 5.35: Gráfico de respostas aos quesitos de legibilidade e velocidade.

Além das categorias que emergiram das falas dos participantes durante a realização das entrevistas, foram sugeridos por eles pontos de melhorias em relação ao Litera Braille que não chegaram a se tornar categorias, por serem sugestões isoladas, mas que podem ser consideradas importantes para futuras melhorias no dispositivo. Dessa forma, das falas dos usuários apreende-se que podem ser melhorias importantes, por exemplo, a inversão do sentido de marcação dos pontos, de modo a ficarem em alto relevo (ao invés da marcação em baixo relevo realizada pela versão atual); a possibilidade de deixar o dispositivo ainda mais leve, substituindo a estrutura de MDF por material plástico; a inclusão de bateria para o dispositivo ganhar autonomia de funcionamento mesmo fora da tomada; e alteração na posição da tecla referente à função “retroceder” para que esta fique mais próxima da tecla da função “apagar”. As sugestões dos usuários sobre esses temas são reproduzidas a seguir:

- **P-3:** “poderia deixar ela ainda mais leve com a utilização, por exemplo, de um material plástico”;
- **P-6:** “se conseguir depois inverter para já escrever de baixo para cima para a gente conseguir ler o que está escrevendo, seria muito bom”;

- **P-7:** “por ela ser elétrica, seria bom também ter uma bateria”; “a tecla de voltar um caractere deveria estar alinhada com a tecla de apagar”.

De um modo geral, a avaliação qualitativa do Litera Braille obteve resultados condizentes com a avaliação quantitativa realizada com o auxílio dos instrumentos de pesquisa selecionados (AUS e UEQ-S), com uma avaliação positiva dos participantes. Essa avaliação positiva pode ser notada através da frequência muito maior de falas relativas aos pontos positivos identificados pelos participantes, mesmo sendo observado que os mesmos ofereceram importantes sugestões de melhorias.

5.6 Discussões

A importância do Braille na vida das pessoas com deficiência visual (DV), seja baixa visão ou cegueira, adquirida ou congênita Sá et al. (2007), pôde ser percebida durante o desenvolvimento desta pesquisa, tanto no processo de levantamento da fundamentação teórica, quanto durante a realização das entrevistas com os participantes da pesquisa. Diversos autores, como Barbosa and Souza (2019), Gehm (2017), Dias and de Almeida Vieira (2017), Stanfa and Johnson (2017) e, inclusive Vygotski (1989), reforçam a importância do Braille para o processo de aprendizagem da pessoa com DV, indispensável para o desenvolvimento da leitura e escrita. A própria legislação brasileira (Brasil, 2015) demonstra essa importância considerando o sistema Braille um instrumento imprescindível para o processo de comunicação das pessoas com DV, favorecendo sobretudo o acesso à informação e a promoção da autonomia.

Nesse cenário, este trabalho propôs, como objetivo geral, “Desenvolver e avaliar o Litera Braille, um dispositivo eletromecânico de baixo custo para entrada em Braille (pontos Braille) e saída dos respectivos caracteres Braille em relevo no papel, de forma semelhante às máquinas de escrever em Braille tradicionais”. Para tanto, alguns objetivos específicos foram delimitados no sentido de alcançar o pretendido no objetivo geral.

O objetivo específico “definir a técnica a ser utilizada para a impressão dos pontos Braille” foi alcançado com auxílio também da fundamentação teórica que ajudou a definir a utilização de 3 servomotores na cabeça de impressão, sendo cada servomotor responsável pela marcação de 2 pontos da Cela Braille, conforme detalhado na Subseção 5.2.1.

Aquele referente “experimentar o uso do *Braillestick*, proposto por Santana (2021), como interface de entrada integrante do Litera Braille e/ou propor alterações necessárias para sua integração à estrutura física final” foi alcançado, tendo sido esse teclado incorporado ao Litera Braille com os devidos ajustes, conforme descrito na Seção 5.2. Posteriormente, também foram feitas alterações no layout do *Braillestick* e a adição de novas teclas para atender funcionalidades adicionais ao Litera Braille, conforme descrito na Seção 5.3.

Em relação ao objetivo específico “avaliar se o Litera Braille atende às expectati-

vas de funcionalidades semelhantes às máquinas de escrever em Braille tradicionais, como a Perkins ou similares, mesmo com a diferença de ter um funcionamento eletromecânico”, pode-se inferir que foi atendido, uma vez os resultados físicos do Litera Braille se assemelham aos de uma máquina Braille. Possui capacidade de permitir a escrita em Braille, além de demonstrar uma estrutura física com botões, em quantidade e posicionamentos semelhantes. Também permite a prática da leitura tátil da marcação de pontos, todas essas características reforçadas pelas falas comparativas dos participantes entre o Litera Braille e a máquina Perkins.

Aqueles referentes à “verificar a aceitação e possíveis correções que melhorem seu manuseio e funcionamento”, “Apresentar o Litera Braille no Centro de Apoio Pedagógico ao Deficiente Visual de Feira de Santana, para que seja testado por usuários de modo a realizar a sua validação” foram alcançados a partir das validações realizadas no espaço do CAP-DV. O primeiro deles com a avaliação das duas versões funcionais, sendo a primeira versão validada por um participante com DV, que sugeriu melhorias adicionais implementadas, sobretudo em relação às funções “retroceder” e “apagar”, conforme descrito na Subseção 5.2.4. O segundo, com a realização da avaliação da segunda versão funcional por 10 participantes frequentadores do CAP-DV (Seção 5.5), quando também o pesquisador teve oportunidade de apresentar o dispositivo à instituição e a alguns professores presentes.

Também no sentido de nortear a pesquisa, as seguintes questões norteadoras foram definidas: (QP1) “O Litera Braille apresenta um bom funcionamento geral e qualidade razoável em relação à precisão da marcação dos caracteres Braille no papel?”; (QP2) “O Litera Braille possibilita uma boa velocidade no processo de digitação dos caracteres Braille?”; (QP3) “De que maneira o Litera Braille é avaliado pelos participantes da pesquisa, em relação à sua usabilidade e à experiência dos usuários?”; (QP4) “De que maneira o Litera Braille é avaliado em relação a características como custo, peso e emissão de ruídos, se comparado à máquina de escrever em Braille tradicional, como a Perkins?”; (QP5) “De que maneira as pessoas com DV investigadas entendem a importância do Braille?”.

As questões de pesquisa (QP1 e QP2), que versam, respectivamente, sobre a qualidade do funcionamento geral e sobre a velocidade de digitação dos caracteres Braille, através do Litera Braille, foram respondidas na medida em que foi possível demonstrar a qualidade do dispositivo a partir da realização dos testes de funcionamento geral e de velocidade do dispositivo, conforme apresentado na Subseção 5.5.2. Em relação à avaliação do funcionamento geral, o dispositivo realiza todas as funcionalidades planejadas e mantém qualidade razoável para a marcação dos pontos Braille em relevo no papel, na perspectiva de se manter o mais próximo possível do que é definido nas normas para produção em Braille. Em relação à análise de velocidade, foi possível observar que o dispositivo consegue marcar 1 caractere em aproximadamente 1,69 segundos, velocidade maior do que aquela alcançada em outros dispositivos desenvolvidos em trabalhos correlatos (Subseção 5.5.2).

A questão de pesquisa (QP3), que trata da avaliação do Litera Braille pelos par-

ticipantes da pesquisa, em relação à usabilidade e à experiência dos usuários, foi respondida, alcançando-se avaliações positivas dos usuários com pontuações médias próximas aos 90%, o que se encontra detalhado nas Subseções 5.5.3 e 5.5.4.

A questão de pesquisa (QP4), que aborda sobre a avaliação do Litera Braille em relação às características como custo, peso e emissão de ruídos, comparando-o com a máquina de escrever em Braille tradicional, também foi respondida, sobretudo considerando as falas dos participantes da pesquisa durante a realização as entrevistas. Para os respondentes, o Litera Braille é um dispositivo mais leve e fácil de transportar, além de mais silencioso. Uma avaliação específica de custo realizada na Subseção 5.5.1 demonstra que o custo de replicação do Litera Braille é de aproximadamente 13% do custo para aquisição da máquina de escrever em Braille comercial mais barata vendida no Brasil.

Também pode-se afirmar que a questão de pesquisa (QP5), que trata da importância do Braille para as pessoas com DV, foi respondida, a partir das falas trazidas pelos participantes da pesquisa, que refletem demonstração de segurança e autonomia ao escreverem o texto que estava sendo sugerido. Além da escrita, tiveram a possibilidade de ler o texto escrito em Braille, conferindo o que havia sido digitado. Tais falas expressaram, por exemplo, “eu precisava do Braille para continuar estudando” (fala do P-3), “Poder estudar como qualquer criança” (P-1) e “O Braille sempre será importante para aprender a ler e a escrever” (P-6).

Considerando a análise qualitativa realizada, durante a fase de pré-análise planejou-se a divisão em três categorias, sendo elas: (1) Braille, (2) Máquina de escrever em Braille e (3) Acessibilidade e Tecnologia Assistiva. Essa análise também reforçou os achados referentes às questões QP4 e QP5.

Para a análise da categoria **Braille**, na fase de pré-análise, foi realizada uma subdivisão em quatro temas: (1) importância do Braille; (2) leitura em Braille; (3) escrita em Braille; e (4) “desbrailização”. Durante a avaliação das falas dos participantes, notou-se, porém, que precisariam ser unificados os temas de leitura e escrita em Braille ao tema de importância deste, pois os contextos se mostraram fortemente relacionados, o que impediria a exclusão mútua para a classificação das unidades de conteúdos entre os temas. Dessa forma, chegou-se a verificação da frequência de falas sobre o Braille, conforme mostrado na Tabela 5.10.

Tabela 5.8: Categorização de falas dos participantes relacionadas ao Braille.

Categoria: Braille	
Temas	Frequência
Importância do Braille para a escrita e leitura	18
Desbrailização	3

Embora o tema “desbrailização” também guarde forte relação com a importância do Braille para a escrita e leitura, para aquele, foram consideradas falas que denotavam

uma maior utilização do auxílio de outras tecnologias para justificar uma menor utilização do Braille, o que permite analisar a frequência entre os temas de modo a garantir a exclusão mútua. As verbalizações dos participantes que foram consideradas para o tema “desbrailização”, expressaram, por exemplo, “Também escrevo pouco hoje, porque o celular ajuda” (P-3) e “Posso dizer também em relação a minha necessidade de uso, pois hoje já tem outras tecnologias” (P-6).

A “desbrailização”, conforme esclarece Batista (2018), é um fenômeno que vem sendo observado pelos pesquisadores e que ocorre devido à facilidade oferecida pelas tecnologias para o acesso à informação através de áudio, como os leitores de tela, fenômeno este que vem causando um distanciamento da utilização do Braille por diversas pessoas com DV. Como visto na Fundamentação Teórica, Martinez et al. (2018) explicam que a “desbrailização” coloca em risco o processo de formação das pessoas com DV, porque a obtenção da informação através de áudio não ensina a ler e a escrever, não sendo o suficiente para o processo adequado de alfabetização.

Outra categoria analisada se refere à **máquina de escrever em Braille**, devido a sua importância como instrumento de TA para as pessoas com DV e por estar relacionada aos objetivos desta pesquisa. Como visto na fundamentação teórica, a importância da máquina de escrever em Braille se deve por esta ser uma das melhores opções para a escrita em Braille, oferecendo mais comodidade e possibilitando um *feedback* mais rápido do que a reglete e a punção, conforme esclarecem Santana et al. (2019). Outra importante característica da máquina é possibilitar a realização da escrita Braille com toque simultâneo das teclas, conforme reforçam Sá et al. (2007), o que a faz ser considerada como um instrumento bastante rápido, prático e eficiente.

Para a categorização temática sobre a máquina de escrever em Braille, antes da análise das falas, foram elencados os temas “importância da máquina” e “custo da máquina”, pois o objetivo da pesquisa era entender o quanto uma máquina Braille seria importante para pessoas com DV e se o custo poderia ser um impedimento para a sua aquisição (Seção 1.1). Durante a análise das verbalizações dos participantes, entendeu-se como necessário modificar o tema “importância da máquina” para “importância e qualidade da máquina”, além de acrescentar os temas “peso da máquina” e “barulho da máquina”, devido à frequência observada de falas como: “Um ponto negativo é o peso” (P-7), “Pena que é muito cara e pesada” (P-9) e “a máquina Perkins faz muito barulho” (P-1).

Para a verificação da frequência de falas sobre os temas de peso e barulho da máquina, foram incluídas verbalizações referentes às comparações feitas pelos participantes entre o Litera Braille e a máquina Perkins, através de falas como “Leve e pouco barulho” (P-2) e “Mais leve e fácil de andar com ela” (P-5). Como em suas falas os participantes expressaram espontaneamente sobre as mencionadas características do Litera Braille em relação à máquina tradicional, foi possível inferir que essas verbalizações poderiam ser contabilizadas para a mensuração de frequência dos temas em questão. Dessa forma, chegou-se à formação da Tabela 5.9 com a análise de frequência de falas sobre os temas referentes à máquina de escrever em Braille.

Tabela 5.9: Categorização de falas dos participantes relacionadas à máquina de escrever em Braille.

Categoria: Máquina de escrever em Braille	
Temas	Frequência
Importância e qualidade da Máquina	24
Custo da Máquina	18
Peso da máquina	16
Barulho da máquina	6

Dentre os temas analisados referentes à máquina de escrever em Braille, a crítica com maior frequência esteve relacionada ao custo deste equipamento. Santana et al. (2019) explicam que, apesar das vantagens da máquina de escrever em Braille, este acaba sendo um equipamento pouco utilizado pelas pessoas com DV, devido principalmente à questão do elevado preço de aquisição. Conforme visto na Seção 5.1 de Análise de Perfil dos Participantes, todas as pessoas entrevistadas relataram não possuir uma máquina de escrever em Braille (Figura 5.5-a) e ter pouco acesso ao referido equipamento (90% semanalmente e 10% mensalmente) (Figura 5.5-b), sendo através das atividades realizadas no CAP-DV o único momento de acesso ao dispositivo (Figura 5.6). Conforme visto na Seção 5.1, para resposta à pergunta 15 do questionário de perfil dos participantes (Apêndice E), estes relataram unanimemente que o motivo para não possuírem a máquina se referia ao custo elevado para sua aquisição.

Devido a essa dificuldade de acesso a dispositivos de utilização mais fácil para a prática da escrita e leitura em Braille, como a máquina de escrever em Braille e a Linha Braille (esse com custo ainda mais elevado do que o primeiro), aliado à facilidade oferecida por novas tecnologias, é que emergem problemas como os causados pela “desbrailização”, como comentado anteriormente.

Esse problema gera impacto direto sobre o processo de acessibilidade das pessoas com DV, principalmente ao conhecimento formal e à autonomia. Mesmo a acessibilidade sendo um direito de todos, infelizmente muitas pessoas ainda não têm acesso adequado às informações, conforme esclarecem Barbosa and Souza (2019), demonstrando que, mesmo com a existência de recursos e normas, as barreiras ainda estão presentes na sociedade, impactando a vida das pessoas com deficiência. Como visto no Capítulo de Fundamentação Teórica, uma das formas de promover acessibilidade às pessoas com deficiência é justamente através da utilização de recursos de TA.

Devido à importância dos conceitos de **Acessibilidade** (Seção 2.2) e **Tecnologia Assistiva** (Seção 2.4), foi realizada a categorização e análise de frequência de falas dos participantes referentes a esses temas durante as entrevistas. Relativamente ao tema de (importância da) acessibilidade, foram observadas verbalizações dos participantes que expressavam falas como “Muito importante continuar sempre pesquisando em prol da acessibilidade das pessoas com deficiência” (fala do P-6), “Todas as pesquisas

para melhorar a acessibilidade são importantes” (P-9) e “Se ficar barato mesmo, vai ser muito bom para a acessibilidade” (P-5). Já em relação ao tema de tecnologia assistiva, foram observadas falas como “Acho importante, pois é voltado para pessoa em questão” (P-1), “Esses projetos e conhecimentos que vão adquirindo vem a agregar na vida da gente” (P-6) e “se um dispositivo é lançado, traz um grande avanço e aumenta a acessibilidade e a qualidade de vida das pessoas” (P-7). Dessa forma, chegou-se à formação da Tabela 5.10 com a análise de frequência de falas sobre os temas de acessibilidade e TA.

Tabela 5.10: Categorização de falas dos participantes relacionadas à Acessibilidade e Tecnologia Assistiva.

Categoria: Acessibilidade e Tecnologia Assistiva	
Temas	Frequência
Tecnologia Assistiva	11
Acessibilidade	6

É possível inferir, a partir dessas falas demonstradas por quem vivencia a deficiência visual, quão importantes se tornam pesquisas que procuram contribuir com o aumento da acessibilidade deste grupo vulnerável, garantindo que possam ter seus direitos respeitados e que, como cidadãos, possam contribuir com a sociedade em que vivem.

Esta pesquisa, ao longo de seu percurso, reforçou a importância da escrita e leitura em Braille para o desenvolvimento intelectual, social e de autonomia para as pessoas com DV. Associada à importância do Braille, ofertar um dispositivo de TA que possa contribuir com a prática do Braille por parte da pessoa com DV se mostra necessário e importante como uma possibilidade de melhoria na acessibilidade dessas pessoas.

Por fim, esta Seção de discussões buscou triangular os fundamentos teóricos com os dados qualitativos e quantitativos desta pesquisa, demonstrando a importância de um dispositivo de TA de baixo custo para a prática de escrita e leitura em Braille, e do próprio Braille para o desenvolvimento intelectual, social e de autonomia das pessoas com deficiência visual.

5.7 Ameaças à Validade

Durante a realização desta pesquisa, foram identificadas algumas possíveis ameaças à validade. Dentre as observadas, pode-se citar aquela referente à avaliação de custo (Subseção 5.5.1), pois não foi possível realizar uma comparação em termos de valor de produção do Litera Braille em relação às máquinas de escrever comerciais, levando em consideração os investimentos das empresas em termos de pesquisa e desenvolvimento. Para o Litera Braille, a avaliação de custo possível se refere a uma replicação do dispositivo, tendo em vista que a pesquisa foi realizada no âmbito de um mestrado em universidade pública, o que dificulta o cálculo de investimento comercial

em pesquisa e do valor da inventividade, já que a intenção para o desenvolvimento da ferramenta não tem objetivos comerciais.

Outra ameaça que pode ser citada diz respeito à avaliação de velocidade realizada (Subseção 5.5.2), já que a análise de tempo médio de digitação de caracteres foi calculado com a habilidade no Braille do próprio pesquisador. Levando em consideração que cada pessoa tem uma habilidade e agilidade diferentes, esse fator pode, de alguma maneira, influenciar no tempo médio da escrita. Dessa forma, a velocidade não tem relação tão somente ao dispositivo, mas também a quem o utiliza. Porém, essa observação também se aplica às máquinas comerciais de escrever em Braille, como a Perkins.

Mais uma ameaça que poderia ser relatada é referente à quantidade de participantes que realizaram avaliação do Litera Braille durante a pesquisa. No entanto, embora a quantidade de participantes seja pequena (10 participantes), entende-se que, por se tratar de uma primeira versão da máquina, e de um público com características específicas, esse número é suficiente para atingir os objetivos desta pesquisa. Além disso, é uma avaliação de um dispositivo físico (e não lógico, como um software), com uma unidade apenas disponível, o que também justifica o quantitativo de participantes, já que estes precisavam ter acesso ao equipamento para a realização dos testes e avaliações. Espera-se, porém, que esta pesquisa seja replicável, tanto em relação à produção de novas unidades do Litera Braille, quanto à possibilidade de avaliá-los com métodos e instrumentos semelhantes, aplicados neste trabalho.

Capítulo 6

Considerações Finais

Segundo a Constituição Brasileira, todas as pessoas são iguais e detentoras de direitos universais e invioláveis (Brasil, 1988). Dentre esses direitos sociais, encontram-se com destaque a educação, a saúde, a alimentação e o trabalho. A educação, em especial, é um direito garantido tanto na Declaração Universal dos direitos humanos, quanto na Constituição Brasileira (Brasil, 1988, art. 205).

Quando esses direitos dizem respeito às pessoas com deficiência, a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146 de 2015) enfatiza que todas as pessoas com deficiência têm direito à igualdade de oportunidades com as demais pessoas, em especial à educação e às possibilidades de trabalho. Além disso, é dever do Estado, da sociedade e da família assegurar à pessoa com deficiência o seu bem-estar pessoal, social e econômico, garantindo o acesso a um sistema educacional inclusivo que permita um adequado aprendizado em todas as fases da vida (Brasil, 2015).

Embora o aprendizado e a acessibilidade sejam direitos garantidos pela legislação brasileira, existe ainda uma lacuna quanto ao efetivo exercício destes direitos pelas pessoas com DV, pois, além de outras questões, os principais dispositivos de TA voltados à prática da escrita e leitura em Braille são de elevado custo, tais como a máquina de escrever em Braille e a linha Braille. Essa realidade foi observada nas entrevistas com os participantes, pois mesmo não possuindo a máquina de escrever em Braille por conta do alto custo de aquisição, entendiam que esse instrumento era muito importante e interessante para a prática da escrita em Braille. Aliado a essa realidade, conforme afirmam Ottaiano et al. (2019), está o fato da vulnerabilidade sócio econômica da maior parcela das pessoas com DV afetar seu dia a dia.

Diante desse cenário, foi idealizado o dispositivo Litera Braille, um dispositivo de TA de baixo custo com funcionalidade similar à máquina de escrever em Braille. Para o desenvolvimento deste dispositivo, buscou-se a participação ativa do público alvo, desde o seu início com a realização de entrevista de uma pessoa com DV que participaativamente do mercado de trabalho da informática, lidando diretamente

com o uso de ferramentas Braille, além da realização de visitas ao CAP-DV, o que trouxe importantes informações que contribuíram para a construção dessa proposta de instrumento.

A partir desse direcionamento, foi realizado o desenvolvimento do Litera Braille, desde a parte mecânica, elétrica, física e de programação, até a sua validação por pessoas com DV, público alvo da pesquisa, após submissão e aprovação do projeto pelo Comitê de Ética. As avaliações de usabilidade e de experiência do usuário sinalizaram pontuações médias próximas aos 90%, reforçadas pela avaliação qualitativa realizada a partir de entrevista semiestruturada com os participantes da pesquisa, visto na Subseção 5.5.

Além das avaliações realizadas com os participantes da pesquisa, outras aconteceram para validar a qualidade do Litera Braille em relação a quesitos de funcionamento geral, velocidade e precisão da marcação. Além destas, a análise para verificar se o dispositivo atendia a requisitos de baixo custo evidenciou que o custo necessário para a sua replicação é de cerca de 13% do preço para aquisição do dispositivo Braille comercial mais barato no mercado brasileiro. Outras características importantes avaliadas dizem respeito ao menor peso e emissão de ruídos, se comparado à máquina de escrever em Braille, conforme opiniões dos participantes da pesquisa.

Nas seções seguintes, são apresentadas as principais contribuições alcançadas com o desenvolvimento desta pesquisa e os possíveis trabalhos futuros.

6.1 Contribuições

Dentre as principais contribuições desta pesquisa, é possível citar as informações trazidas a partir do levantamento bibliográfico, que foram apresentadas na fundamentação teórica, e que permitem reforçar a importância de estudos que abordam temas como Acessibilidade, Deficiência e Deficiência Visual, importância do Braille e de instrumentos de Tecnologia Assistiva. O levantamento bibliográfico também permitiu a identificação de Trabalhos Correlatos que propuseram dispositivos de baixo custo com objetivos de tornar mais acessível a produção textual em Braille e consequente prática da escrita e/ou leitura em Braille. As informações encontradas contribuem também subsidiando a atividade de pesquisadores, pais e professores ao auxiliar na identificação de diferentes recursos de TA disponíveis, principalmente aquelas que permitem a prática e o uso do Braille.

A principal contribuição considerada é o próprio Litera Braille, dispositivo de TA desenvolvido para trazer à sociedade, especialmente às pessoas com DV, uma opção mais acessível do que as máquinas de escrever em Braille tradicionais que, apesar do custo de aquisição elevado, são ainda consideradas uma das principais opções para a escrita do Braille e consequente prática da leitura e aquisição de autonomia e conhecimento.

Como este trabalho de pesquisa também realizou entrevistas semiestruturadas com

participantes com DV, foi possível, a partir da análise qualitativa das verbalizações, verificar a percepção dos usuários em relação ao Litera Braille e a temas relevantes como acessibilidade, Braille e dispositivos de tecnologia assistiva, como a máquina de escrever em Braille, que permitem a prática do Braille. As discussões proporcionadas a partir da análise dos referidos dados qualitativos permitiu reforçar a importância destes temas discutidos para a vida das pessoas com DV.

Espera-se que o Litera Braille possibilite um maior acesso das pessoas com Deficiência Visual ao equipamento e que, pela similaridade com a máquina de escrever em Braille, facilite o exercício da escrita e da leitura do Braille, contribuindo dessa forma para a aprendizagem e letramento do Braille.

Após a conclusão deste trabalho, pretende-se disponibilizar o Litera Braille à comunidade, junto à estrutura da Universidade Estadual de Feira de Santana, para que o equipamento possa ser utilizado pelos usuários ou mesmo servir de base para estudos futuros que possam utilizar, aprimorar ou modificar o projeto.

Além disso, os resultados serão disponibilizados à comunidade através da publicação de artigos científicos e do envio de uma cópia da dissertação para o CAP-DV, cujos estudantes, professores e demais profissionais acolheram essa pesquisa com muita atenção e carinho.

6.2 Trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento deste trabalho, notou-se a necessidade de continuidade de pesquisas que proponham novas soluções acessíveis de TA voltadas a pessoas com DV.

Em relação ao dispositivo de TA de baixo custo desenvolvido no âmbito desta pesquisa, o Litera Braille, observa-se como importante o desenvolvimento de pesquisas que permitam realizar novas análises sobre o dispositivo, tanto com a participação de mais usuários com DV, quanto com o desenvolvimento de mais unidades do mesmo dispositivo para verificar a capacidade de sua replicação, manutenção ou alteração dos resultados obtidos até o momento. Interessante também estudos que proponham avaliação do consumo de energia, da emissão de ruídos e de durabilidade em relação ao uso intensivo do equipamento, além de investigação para avaliar o quanto o Litera Braille pode economizar em manutenção do equipamento em relação a máquinas tradicionais de escrever em Braille, como a Perkins. Outra pesquisa importante pode ser considerada para realizar levantamento de custos de produção comercial do Litera Braille, como mão de obra, logística, impostos e outros custos que possam interferir sobre uma especificação mais detalhada e uma melhor comparação com custo em relação a máquinas de escrever comerciais.

Considera-se importante, também, pesquisas que se proponham a evoluir o Litera Braille de modo a atender às sugestões registradas pelos participantes durante a realização das avaliações de usuário. Durante as entrevistas, os participantes relataram

considerar importante o aperfeiçoamento em relação à velocidade do dispositivo para marcação dos caracteres Braille no papel e o aprimoramento das marcações dos pontos do Braille para torná-los ainda mais legíveis. Além dessas, também será interessante evoluir o dispositivo para emitir *feedback* sonoro em relação às teclas acionadas.

Para o aumento da velocidade, entende-se como viável a realização de novas investigações em relação à estratégia empregada para a marcação dos pontos Braille. Atualmente, o Litera Braille utiliza 3 servomotores na cabeça de impressão, podendo evoluir para outro componente ainda mais rápido em substituição. Uma opção possível seria a utilização, por exemplo, de 6 solenoides (1 para cada ponto da Cela Braille), o que permitiria uma marcação simultânea, portanto, mais rápida. Essa alteração, entretanto, eventualmente aumentaria o custo do dispositivo, o que pode ser avaliado em pesquisa futura. Outra análise se refere à avaliação da possibilidade de substituição dos motores de passo Nema 17 por motores de passo menores e mais baratos, como o motor 28byj-48, para tentar reduzir ainda mais o custo e o peso do dispositivo. Para tanto, se faz necessário avaliar se a precisão dos passos realizados por esses motores é suficiente para atender às necessidades do Litera Braille, principalmente no tocante ao deslocamento da cabeça de impressão.

Os participantes também sugeriram intervenções no dispositivo para alterações no layout do teclado, principalmente em relação ao alinhamento dos botões relacionados aos pontos Braille, pois, na versão atual da ferramenta, os botões referentes aos pontos 2 e 5 encontram-se desalinhados dos demais. Outra alteração sugerida é a criação de uma identificação dos botões, por exemplo, com símbolos Braille referentes ao número ou sigla para cada uma das teclas do dispositivo, além da alteração na posição da tecla referente à função “retroceder”, reposicionando-a mais próxima da tecla da função “apagar”.

Outros pontos de melhorias para o Litera Braille sugeridos pelos participantes dizem respeito a: inversão do sentido de marcação dos pontos, de modo a ficarem em alto relevo (ao invés da marcação em baixo relevo realizada pela versão atual); possibilidade de deixar o dispositivo ainda mais leve, substituindo a estrutura de MDF por material plástico; e a inclusão de bateria para o dispositivo ganhar autonomia de funcionamento mesmo fora da tomada.

Entende-se também como importante a realização de pesquisas que proponham a possibilidade de utilização do Litera Braille também como um dispositivo de impressão de texto digital vindo diretamente de equipamentos informáticos, de modo similar à impressora Braille, seja utilizando softwares existentes de conversão do texto para o Braille ou desenvolvendo um conversor no âmbito de um projeto de trabalho futuro.

Por fim, considera-se sempre muito importante a condução de novos estudos que busquem e ofereçam melhores soluções para o desenvolvimento e a avaliação de dispositivos e recursos de Tecnologia Assistiva destinados a pessoas com deficiência visual, promovendo acessibilidade e inclusão social.

Referências

- ABNT (2008). *ABNT NBR 15599:2008: Acessibilidade - Comunicação na prestação de serviços*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ.
- ABNT (2016). *ABNT NBR 15290:2016: Acessibilidade em comunicação na televisão*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ.
- ABNT (2020). *ABNT NBR 9050/2020: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ.
- ABNT (2021). *ABNT NBR 15570/2021: Fabricação de veículos acessíveis de categoria M3 com características urbanas para transporte coletivo de passageiros*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ.
- Adafruit (2012a). Adafruit motor shield library - af stepper class. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/af-stepper-class>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- Adafruit (2012b). Adafruit motor shield library - using stepper motors. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/using-stepper-motors>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- Alisson, E. (2017). Aprender braille pode ser mais rápido graças a novo instrumento. revista pesquisa – fapesp. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/aprender-braille-pode-ser-mais-rapido-gracas-a-novo-instrumento/>. Acesso em: 05 mai. 2022.
- Almeida, T. S. and Araujo, F. V. (2013). Diferenças experienciais entre pessoas com cegueira congênita e adquirida: Uma breve apreciação. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia*, 1(2).
- Alves, T. R., Pereira, C. P., and de Jesus, T. C. (2023). Litera braille: Prototyping and development of low-cost device based on braille typewriter. In *EDULEARN23 Proceedings*, pages 5759–5768. IATED.

- Apurva, A., Thakur, P., and Misra, A. (2017). Aiding the visually impaired: Developing an efficient braille printer. In *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, pages 2128–2133. IEEE.
- Arduino.cc (2022a). Adafruit motor shield library. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/adafruit-motor-shield-library>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- Arduino.cc (2022b). Getting started with arduino. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/startng-guide/getting-started-arduino#main-parts>. Acesso em: 13 nov. 2022.
- Arduino.cc (2022c). Servo library. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- Barbosa, A. L. C. and Souza, R. d. C. S. (2019). Letramento e acessibilidade: redimensionando a leitura através do sistema braille. In *Anais do XIII Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade” - EDUCON*.
- Batista, C. P., de Lemos, C., and Costa, N. C. (2014). A formaÇÃO docente e a deficiÊncia visual: Construindo prÁticas inclusivas. *Ensaio: AvaliaÇão e Políticas PÚblicas em EducaÇão*.
- Batista, R. D. (2018). O processo de alfabetizaÇão de alunos cegos e o movimento da desbrailizaÇão. *Piracicaba: UNIMEP, Tese de doutorado*.
- Beal, F. and GarcÍa, L. S. (2019). Mapeamento sistemático sobre interfaces tangíveis para apoiar o ensino do braille. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, page 1131.
- Bersch, R. (2017). Introdução à tecnologia assistiva. *Porto Alegre: CEDI*.
- Borges, J. A. d. S. (2009). Do braille ao dosvox: diferenças nas vidas dos cegos brasileiros. *Rio de Janeiro, UFRJ*.
- Bradin, L. (2011). *Análise de Conteúdo*, volume 1 ed, v. 70. Almedina, São Paulo - SP.
- Brasil (1988). ConstituiÇÃO da repÚblica federativa do brasil. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituciao/constituciao.htm. Acesso em: 07 jul 2022.
- Brasil (1996). Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 - lei de diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 21 set 2021.

- Brasil (2002). Portaria mec nº 2678, de 24 de setembro de 2002 - projeto da grafia braille para a língua portuguesa. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/acesso-a-informacao/institucional/legislacao/item/3494-portaria-mec-n%C2%BA-2678-de-24-de-setembro-de-2002>. Acessado em: 17 abr. 2022.
- Brasil (2004). Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. regulamenta as leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras provisões. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acessado em: 27 aug. 2022.
- Brasil (2006). *Saberes e práticas da inclusão: desenvolvendo competências para o atendimento às necessidades educacionais especiais de alunos cegos e de alunos com baixa visão*. MEC, Secretaria de Educação Especial, Coordenação Geral SEESP/MEC, Brasília. Acessado em: 22 abr. 2022.
- Brasil (2008). Portaria nº 3.128, de 24 de dezembro de 2008 do ministério da saúde - define que as redes estaduais de atenção à pessoa com deficiência visual sejam compostas por ações na atenção básica e serviços de reabilitação visual. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html. Acessado em: 18 abr. 2022.
- Brasil (2009). *Tecnologia Assistiva*. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência, Comitê de Ajudas Técnicas, Brasília-DF.
- Brasil (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm#art112. Acessado em: 22 mar. 2022.
- Brasil (2018). *Normas Técnicas para a Produção de Textos em Braille*. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão, Brasília-DF. elaboração: DOS SANTOS, Fernanda Christina; OLIVEIRA, Regina Fátima Caldeira de.
- Câmara, R. H. (2013). Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. *Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia*, 6(2):179–191.
- CAP-DV (2010). Programas de atendimentos do cap-dv, feira de santana. Disponível em: <http://cap-dv-feiradesantana.blogspot.com/2010/10/programas-de-atendimentos-do-cap-dv.html>. Acessado em: 30 mai. 2022.

- Chowdhury, D., Haider, M. Z., Sarkar, M., Refat, M., Datta, K., and Fattah, S. A. (2018). An intuitive approach to innovate a low cost braille embosser. *International Journal of Instrumentation Technology*, 2(1):1–17.
- Conde, A. J. M. (2017). Definição de cegueira e baixa visão - instituto benjamin constant (ibc). Disponível em: <http://antigo.ibc.gov.br/educacao/71-educacao-basica/ensino-fundamental/258-definicao-de-cegueira-e-baixa-visao>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- Cook, A. M. and Polgar, J. M. (2014). *Assistive technologies-e-book: principles and practice*. Elsevier Health Sciences.
- Coraini, F., Tavares, N. L. F., de Oliveira, W. F., and Lopes, K. F. (2019). A importância do letramento escolar para a criança cega: estudo de caso. In *Múltiplos olhares da educação na contemporaneidade*. Atena Editora, Ponta Grossa, PR.
- Costa, E. B. G. d., Barros, I. O. d. R., and Fechine, J. M. (2006). Matracaferramenta computacional para auxílio a deficientes visuais no uso do computador. In *X CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE*, volume 10, pages 1–11.
- Creswell, J. W. and Creswell, J. D. (2010). *Projeto de pesquisa-: Métodos qualitativo, quantitativo e misto*, volume 3 ed. Penso Editora.
- Crivelatti, F. (2015). Projeto e execução de um mecanismo de cremalheira/pinhão para impressora 3d. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- de Carvalho, M. F. and dos Santos Borges, J. A. (2020). Rebrailizando os cegos no século xxi. *Revista Scientiarum Historia*, 1:9–9.
- de Freitas Silva, A. A., de Oliveira, G. S., and Ataídes, F. B. (2021). Pesquisa-ação: princípios e fundamentos. *Revista Prisma*, 2(1):2–15.
- de Sá, A. L., da Silva, E. F., and Machado, M. C. (2018). Aplicabilidade da tecnologia assistiva na educação inclusiva. *Projectus*, 3(4):171–184.
- Dias, E. M. and de Almeida Vieira, F. B. (2017). O processo de aprendizagem de pessoas cegas: um novo olhar para as estratégias utilizadas na leitura e escrita. *Revista Educação Especial*, 30(57):175–188.
- Durand, S. (2018). La picoreuse: A cheap braille embosser. Disponível em: <https://www.instructables.com/Cheap-Braille-Embosser-La-Picoreuse/>. Acesso em: 20 dez 2023.
- El-Moughny, N. M. and Dias, M. B. (2008). Assistive computing technology for learning to write braille.

- Fernandes, A. M. d. R., Ramirez, A. G., and Passini, G. (2016). Sistema para impressão de textos em braille. *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação*, 1(5).
- Galvão Filho, T. A. (2009). A tecnologia assistiva: de que se trata. *Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade*, 1:207–235.
- Galvão Filho, T. A. and Damasceno, L. L. (2007). Tecnología asistida en entorno informático: recursos para la autonomía e inclusión socioinformática de la persona con discapacidad. *Programa InfoEsp: premio Reina Sofia*.
- Garcia, F. M. and Braz, A. T. A. M. (2020). Deficiência visual: caminhos legais e teóricos da escola inclusiva. *Anais do Congresso Brasileiro de Educação Especial*, 28:622–641.
- Gehm, R. E. (2017). Alfabetização de alunos cegos: um estudo sobre pesquisas relacionadas ao processo de desbrailização.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*, volume 6 ed. Atlas, São Paulo - SP.
- Gil, M. (2000). *Deficiência Visual*. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - SECRETARIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, Brasilia - DF.
- Glat, R. and Nogueira, M. L. d. L. (2003). Políticas educacionais e a formação de professores para a educação inclusiva no brasil. *Comunicações*, 10(1):134–142.
- Herval, O. S. (2008). Percepções e sentimentos do mundo da sala de aula. *Revista@mbienteeducação*, 1(2).
- Hildebrandt, A. C., Spelta, L. L., and da Mota, M. G. B. (2004). *Grafia Braille para Informática*. MEC, SEESP.
- Hott, D. F. M., Rodrigues, G. M., and de Oliveira, L. P. (2018). Acesso e acessibilidade em ambientes web para pessoas com deficiência: avanços e limites. *Brazilian Journal of Information Science: research trends*, 12(4):45–52.
- IBGE (2021). *Pesquisa nacional de saúde: 2019: ciclos de vida*. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.pns.icict.fiocruz.br/wp-content/uploads/2021/12/liv101846.pdf>. Acesso em: 06 out. 2023.
- IBGE (2023). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) - Pessoas com Deficiência*. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/0a9afaed04d79830f73a16136dba23b9.pdf. Acesso em: 06 out. 2023.

- INEP (2021). Censo da educação básica 2020: Resumo técnico. Technical report, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasília. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2020.pdf. Acesso em: 20 set 2021.
- Ismail, A. M., Yuvaraj, K., Vigneswaran, S., and Nagarajan, P. (2020). Development of low cost 6 dot unicode braille printer for aiding visually impaired persons. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 995, page 012001. IOP Publishing.
- Laugwitz, B., Held, T., and Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In *HCI and Usability for Education and Work: 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, Graz, Austria, November 20-21, 2008. Proceedings 4*, pages 63–76. Springer.
- Lewis, J. R. and Sauro, J. (2018). Item benchmarks for the system usability scale. *Journal of Usability Studies*, 13(3).
- Lopes, J. C. L. and Galdino, L. (2013). Dimensionamento do sistema cremalheira-pinhão de dentes retos. *Augusto Guzzo Revista Acadêmica*, (12):127–139.
- Martinez, A. B. C., Barros, A. S. S., and Santos, A. C. (2018). Letramentos de jovens cegos: estudo de caso em escolas do distrito de braga. In *Colóquio Luso-Brasileiro de Educação - COLBEDUCA*.
- MEC (2017). Data reafirma os direitos das pessoas com deficiência visual. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/33063>. Acesso em: 20 set 2021.
- Melo, A. M., Costa, J. B. d., and SOARE, S. C. d. M. (2006). Tecnologias assistivas. *ACESSIBILIDADE*, page 62.
- Moore, C. and Murray, I. (2001). An electronic design of a low cost braille typewriter. In *The Seventh Australian and New Zealand Intelligent Information Systems Conference, 2001*, pages 153–157. IEEE.
- Nunes, E. V., Dandolini, G. A., and SOUZA, J. A. d. (2014). As tecnologias assistivas e a pessoa cega. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, 9(2).
- Nunes, S. and Lomônaco, J. F. B. (2010). O aluno cego: preconceitos e potencialidades. *Psicologia Escolar e Educacional (Impresso)*, 14(1):55–64.
- ONU (2006). Convenção sobre os direitos das pessoas com deficiência. Disponível em: <http://www.un.org/disabilities/documents/natl/portugal-c.doc>. Acessado em: 23 mar. 2022.

- ONU – Brasil (2019). Primeiro dia mundial do braille destaca importância da linguagem escrita para os direitos humanos. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/primeiro-dia-mundial-do-Braille-destaca-importancia-da-linguagem-escrita-para-os-direitos-humanos/>. Acessado em: 27 mai. 2022.
- Ottaiano, J. A. A., de Ávila, M. P., Umbelino, C. C., and Taleb, A. C. (2019). *As Condições de Saúde Ocular no Brasil*. Conselho Brasileiro de Oftalmologia, São Paulo - SP.
- Ouellette, M. D. (2011). Low cost, compact braille printing head for use in a handheld braille transcribing device.
- Pletsch, M. D., SOUZA, I., Rabelo, L. C. C., and MOREIRA, S. (2021). Acessibilidade e desenho universal na aprendizagem. *Campos de Goytagazes: Encontrografia/ANPED*, 1.
- Portugal (2007). Introdução às ajudas técnicas. Disponível em: <http://snripd.pt/interior.aspx?idCat=2&IdLang=1>. Acessado em: 28 mar. 2022.
- Radabauch, M. P. (1993). Technology for access and function research section two: Niddr research agenda chapter 5. *Technology for access and Function*.
- Richardson, Z. M. R. J. (2009). *Pobreza, deficiência visual e políticas sócio-educativas*. Tese (doutorado em educação), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Rodrigues, M. E. N. and Sobral, A. E. B. (2012). Tecnologia assistiva no contexto da sala de aula inclusiva. In *IV FIPED. REALIZE Editora*.
- Sá, E. D., Campos, I. M. D., and Silva, M. B. C. (2007). Informática para as pessoas cegas e com baixa visão. In *I Conferência*.
- Santana, K., Pereira, C. P., and de Santana, B. S. (2019). Braillelearning: Software para simular a máquina de escrever em braille. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, page 1101.
- Santana, K. C. d. (2021). Braillestick: desenvolvimento e avaliação do dispositivo de entrada para pessoas com deficiência visual baseado na máquina de escrever em braille. Dissertação (mestrado do programa de pós-graduação em ciência da computação), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil.
- Schrepp, M., Hinderks, A., and Thomaschewski, J. (2017). Design and evaluation of a short version of the user experience questionnaire (ueq-s). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4 (6), 103-108.

- Sena, C. P. P. (2014). *Colaboração e mediação no processo de construção e representação do conhecimento por pessoas com deficiência visual, a partir da utilização da aprendizagem baseada em problemas*. Tese (doutorado em difusão do conhecimento), UFBA - Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.
- Shimosaka, M. Y. (2016). Estudo dinâmico comparativo entre mecanismos bielamivela e garfo escocês. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Silva, A. H. and Fossá, M. I. T. (2015). Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. *Qualitas revista eletrônica*, 16(1).
- Silva, G. R. F., de Freitas Macêdo, K. N., de Almeida Rebouças, C. B., Alves, Â. M., et al. (2006). Entrevista como técnica de pesquisa qualitativa. *Online Brazilian Journal of Nursing*, 5(2):246–257.
- Silva, R. S. and Amaral, C. L. C. (2020). Percepção de professores de química face à educação de alunos com deficiência visual: dificuldades e desafios. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 7(1):108–129.
- Silvano, F. G. and Ribeiro, L. M. M. (2017). Leia braile: dispositivo tipo linha braile de baixo custo para leitura de textos digitais por pessoas com deficiência visual. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia da computação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.
- Soares, M. (2004). Letramento e alfabetização: as muitas facetas. *Revista brasileira de educação*, pages 5–17.
- Stanfa, K. and Johnson, N. (2017). Improving reading fluency in braille readers using repeated readings. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 7(1).
- Suzukawa, G. F. (2010). Protótipo de uma impressora braille para uso doméstico.
- Thiollent, M. (2011). *Metodologia da pesquisa-ação*. Cortez editora, São Paulo, SP.
- Torres, H. D. and Ramirez, A. R. G. (2019). Projeto de uma cela braille de baixo custo. *Revista Educação, Psicologia e Interfaces*, 3(4):135–149.
- Vygotski, L. S. (1989). A formação social da mente. *Psicologia*, 153:V631.
- Vygotsky, L. S. (1983). *Fundamentos de Defectología*. Em Vygotsky, Lev S. Obras Escogidas V. Moscú: Pedagógica. Disponível em: <https://baixardoc.com/documents/livro-vygotski-obras-escolhidas-tomo-5-fundamentos-de-defectologia-5c2d80c014ebc>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- Vygotsky, L. S. (1995). *La Prehistoria del Desarrollo del Lenguaje Escrito*. Em Vygotsky, Lev S. Obras Escogidas III. Madrid: Visor.

- WHO (2022). 9d90 vision impairment including blindness in icd-11 for mortality and morbidity statistics (icd-11 mms). Disponível em: <https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f1103667651>. Acessado em: 15 abr. 2022.
- Zeineddine, Z., Sodian, S., Ahmad, N. A. H., and Ismail, G. (2020). Low cost electronic brailler. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 16:811–819.

Apêndice A

Legendas Ampliadas

Textos alternativos apresentando legendas mais detalhadas

Textos alternativos de legendas

Figura 4.2 – Tabela mostrando os itens da versão em português do UEQ-S (versão curta do Questionário de Experiência do Usuário). A tabela é composta por 3 colunas e 8 linhas. Em cada linha existem dois adjetivos representando características opostas, sendo na coluna da esquerda uma característica negativa e na coluna da direita uma característica positiva. Na coluna do centro são mostrados 7 círculos de uma escala *Likert* com os itens à esquerda se aproximando da característica negativa e os da direita se aproximando da característica positiva. As características opostas descritas na tabela são: Obstrutivo x Condutor; Complicado x Fácil; Ineficiente x Eficiente; Confuso x Evidente; Aborrecido x Excitante; Desinteressante x interessante; Convencional x Original; Comum x Vanguardista.

Tabela 5.2: Respostas dos participantes ao questionário de usabilidade. Na primeira coluna são exibidos códigos referentes aos participantes da pesquisa utilizando o padrão com a letra P representando participante e um número inteiro sequencial para diferenciar os participantes conforme a ordem da realização das pesquisas, por exemplo, P-1 representando o participante 1. As demais colunas são intituladas também utilizando um código padronizado com a letra Q representando o quesito do questionário seguido pelo número da questão, por exemplo, Q-1 representa a questão 1 e seguindo até a questão 10, que é a quantidade de questões do instrumento de pesquisa. Na interseção entre as linhas e colunas são mostradas as pontuações de uma escala *likert* de 1 a 5 referentes à avaliação do participante sobre o quesito do questionário.

Tabela 5.3: Pontuação dos quesitos em relação às respostas dos participantes. Trata-se de uma tabela similar à 5.2, porém com valores recalculados para o padrão de 0 a 4 para seguir a metodologia do SUS - *System Usability Scale*. A tabela inclui uma linha para sintetizar o cálculo da pontuação total obtida para cada questão, a qual é alcançada através da soma da pontuação dada pelos participantes para as questões multiplicada por 2,5. Foi adicionada também uma linha para a média das pontuações e outra para o valor de desvio padrão.

Apêndice B

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do projeto: Litera Braille: Desenvolvimento e análise do dispositivo de baixo custo baseado na máquina de escrever em braille

Pesquisador responsável: Claudia Pinto Pereira

Pesquisadores colaboradores: Thiago Ribeiro Alves, Thiago Cerqueira de Jesus.

Convidamos você ou seu filho ou o menor sobre sua responsabilidade para participar desta pesquisa, cujo objetivo é validar o funcionamento do dispositivo Litera Braille através de uma avaliação geral que será feita após o seu uso com coleta de dados de velocidade e precisão e de um questionário que será entregue no final da pesquisa para avaliação do dispositivo. Através desse estudo, será possível desenvolver melhorias do dispositivo que objetiva ter funcionalidade similar a máquina de escrita em Braille, e, por consequência a utilização da linguagem, ajudando as pessoas com e sem deficiência visual no processo de ensino-aprendizagem utilizando a tecnologia a favor da sociedade; analisar como o dispositivo pode ser melhorado e comparar sua usabilidade com as máquinas de escrever em Braille comerciais.

Como benefício, a pesquisa apresenta o Litera Braille, que é uma alternativa de menor custo quando comparado à máquina de escrever em Braille e que poderá ser utilizado em escolas e instituições de ensino para contribuir com a representação do conhecimento além de outros benefícios correlacionados: inclusão social da pessoa com deficiência visual e estimulação de aspectos cognitivos relacionados ao processo de aprendizagem, tais como, atenção, memorização, aprendizagem, representação de conceitos. Um possível risco seria se, por algum motivo, você se sentir constrangido ao responder o questionário ou ainda mesmo ao ser observado. Porém, poderá abandonar a pesquisa a qualquer momento que desejar. De todo modo, estaremos atentos para perceber possíveis desconfortos e fazer propostas para saná-los. Se os mesmos permanecerem, a pesquisa poderá ser interrompida imediatamente sem qualquer tipo de penalidade. Além disso, conforme seu direito à privacidade na realização de pesquisas, as informações desta pesquisa serão confidenciais, garantindo o seu anonimato e respeitando sua integridade intelectual, social e cultural. Neste sentido, o questionário não exige identificação do seu nome ou de qualquer outro documento de identificação. Você terá direito ao ressarcimento de qualquer gasto que tenha para a realização da pesquisa, assim como o direito de buscar indenização caso tenha sofrido eventual dano decorrente da realização da mesma. Caso haja danos decorrentes dos riscos previstos, o pesquisador assumirá a responsabilidade pelos mesmos.

Não haverá remuneração ou qualquer custo com a participação na pesquisa. A escolha em participar desta pesquisa é livre e, se permitida, pedimos autorização de divulgação dos dados analisados e fotos (que poderão ser tiradas durante a aplicação dos questionários) em eventos científicos ou publicação em revistas, congressos e outros meios, lembrando que será mantido sigilo absoluto a respeito de seus dados pessoais. Ao final da pesquisa, os resultados serão disponibilizados à sua instituição de origem (CAP-DV ou UEFS) em formato digital. Caso haja qualquer dúvida antes, durante ou depois da realização da pesquisa, você poderá saná-la através do contato do pesquisador responsável, indicado abaixo. Em qualquer dúvida, no ponto de vista ético, o sujeito poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Feira de Santana através do telefone (75) 3161-8124, e-mail cep@uefs.br, ou até mesmo presencialmente, na UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana), Módulo 1, MA-17 de segunda à sexta das 13:30 às 17:30.

Caso aceite participar desta pesquisa, indique o seu nome completo e assine as duas vias deste termo. Uma via será sua e a outra, do pesquisador. Caso você seja menor de idade, é necessário que este termo seja assinado pelo seu responsável legal.

Feira de Santana, _____ de _____ de _____.

Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador responsável

Claudia Pinto Pereira
Universidade Estadual de Feira de Santana
MT 57, Sala 6, (75) 3161-8086

Apêndice C

Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do projeto: Litera Braille: Desenvolvimento e análise do dispositivo de baixo custo baseado na máquina de escrever em braille

Pesquisador responsável: Claudia Pinto Pereira

Pesquisadores colaboradores: Thiago Ribeiro Alves, Thiago Cerqueira de Jesus.

Informação ao sujeito da pesquisa:

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa, com o objetivo de encontrar melhorias e analisar o dispositivo Litera Braille. Pode ser que este documento possua palavras que você não entenda. Caso isso aconteça, você poderá pedir a qualquer pessoa relacionada ao estudo que explique a palavra ou informação que você não entenda. Através desse dispositivo, você pode simular o uso da máquina de Braille, para que assim melhore o seu uso e o conhecimento da linguagem Braille. Esta pesquisa será realizada para que seja verificado o funcionamento do dispositivo e como ele poderá ser melhorado. Para isso, você deverá primeiro utilizá-lo e a própria máquina de escrever em Braille tradicional para que possa ser avaliada à sua velocidade e à precisão de digitação nos dois dispositivos e, posteriormente, poderá responder um questionário com base na sua experiência com o uso do dispositivo Litera Braille. Seus dados pessoais não serão divulgados.

Como benefício, a pesquisa apresenta o Litera Braille, que é uma alternativa de menor custo quando comparado à máquina de escrever em Braille e que poderá ser utilizada em escolas, instituições de ensino e mesmo na casa das pessoas. Além disso, a pesquisa também promove inclusão social da pessoa com deficiência visual, e estimulação de aspectos cognitivos relacionados ao processo de aprendizagem, tais como, atenção, memorização, aprendizagem, representação de conceitos.

Caso concorde em realizar essa pesquisa, deve-se salientar que será algo voluntário, ou seja, não será oferecido nada em troca para que haja a sua participação. Um possível risco seria se, por algum motivo, você se sentir envergonhado ao responder o questionário ou ao ser observado. É importante deixar claro que você poderá deixar a pesquisa a qualquer momento, sem nenhum prejuízo ou impedimento.

Conforme seu direito à privacidade na realização de pesquisas, as informações desta pesquisa serão confidenciais, mas poderão ser divulgadas, apenas, em eventos ou publicações, mediante a não divulgação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo. Ao final da pesquisa, os resultados serão disponibilizados à sua instituição de origem (CAP-DV ou UEFS) em formato digital.

Caso haja qualquer dúvida antes, durante ou depois da realização da pesquisa, você poderá saná-la através do contato do pesquisador responsável, indicado abaixo. Em qualquer dúvida, no ponto de vista ético, o sujeito poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Feira de Santana através do telefone (75) 3161-8124, e-mail cep@uefs.br, ou até mesmo presencialmente, na UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana), Módulo 1, MA-17 de segunda à sexta das 13:30 às 17:30.

Caso aceite participar desta pesquisa, indique o seu nome completo e assine as duas vias deste termo. Uma via será sua e a outra, do pesquisador.

Feira de Santana, _____ de _____ de _____.

Assinatura do participante

Assinatura do pesquisador responsável

Claudia Pinto Pereira
Universidade Estadual de Feira de Santana
MT 57, Sala 6, (75) 3161-8086

Apêndice D

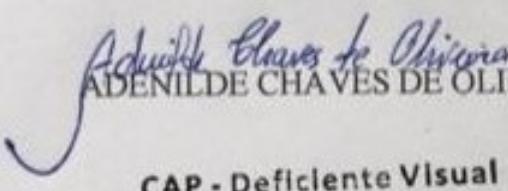
Termo de Autorização da Instituição

TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Eu, **Adenilde Chaves de Oliveira**, representante legal do Centro de Apoio pedagógico ao Deficiente Visual (CAP-DV), da **Associação Jonathas Telles de Carvalho**, estou ciente e autorizo a pesquisadora **Claudia Pinto Pereira** (pesquisadora responsável) e sua equipe a desenvolverem o projeto intitulado como **Braillestick: desenvolvimento e análise do dispositivo de entrada para pessoas com deficiência visual baseado na máquina de escrever em braille**, o qual será executado em consonância com as normas e resoluções que norteiam a pesquisa envolvendo seres humanos, em especial as resoluções CSN 466/2012 e 510/2016. Declaro estar ciente de que a instituição proponente é corresponsável pela atividade de pesquisa proposta e executada pelos pesquisadores e dispõe de infraestrutura necessária para garantir o resguardo e bem-estar do participante da pesquisa.

Este trabalho não oferece qualquer tipo de risco para os participantes, sejam eles físicos e/ou psicológicos. Tem relevância social, no sentido que permite a socialização de conhecimentos entre os participantes da pesquisa, inclusão e/ou aprimoramento sócio digital.

Feira de Santana, 05 de abril de 2020


ADENILDE CHAVES DE OLIVEIRA

CAP - Deficiente Visual
Adenilde Chaves de Oliveira
etora
Aut. 19:098/19 NTE-19

Centro de Apoio Pedagógico ao

Deficiente Visual

Jonathas Telles de Carvalho
Av. Eduardo Fróes da Mota, 05
Bairro: Santa Mônica
P: 44.076-015 - Feira de Santana-Ba
Tel: (75) 3625-7755

Apêndice E

Questionário de Perfil do Participante

Perfil dos Participantes da Pesquisa - Litera Braille

1 entrevistada

1. Faixa etária

Marcar apenas uma oval.

- Menos de 18 anos
- 18 a 28 anos
- 29 a 39 anos
- 40 a 50 anos
- Mais de 50 anos

2. Gênero

Marcar apenas uma oval.

- Masculino
- Feminino
- Não binário
- Prefiro não dizer

3. Qual o tipo de deficiência?

Marcar apenas uma oval.

- Cegueira
- Baixa visão
- Outro: _____

4. Qual a razão da deficiência?

Marcar apenas uma oval.

- Congênita
 Adquirida

5. Quando se iniciou a deficiência?

Marcar apenas uma oval.

- Pré e perinatal
 Infância
 Adolescência
 Adulto

6. A partir de que idade começou a aprender o Braille?

7. Qual a motivação para a aprendizagem do Braille?

8. Como você está mais acostumado a escrever em Braille?

Marque todas que se aplicam.

- Reglete e Punção
 Máquina de escrever em Braille (Perkins ou outra)
 Computador com impressora em Braille
 Linha Braille (Display Braille)
 Outro: _____

9. Qual o nível proficiência que você considera ter em relação à escrita em Braille?

Marcar apenas uma oval.

Básico

Intermediário

Avançado

10. Qual o nível proficiência que você considera ter em relação à leitura em Braille?

Marcar apenas uma oval.

Básico

Intermediário

Avançado

11. Você conhece a máquina de escrever em Braille (Perkins ou outra)?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

12. O que você acha da máquina de escrever em Braille?

13. Você possui uma máquina de escrever em Braille (Perkins ou outra)?

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

14. Caso possua uma máquina de escrever em Braille, quando e por que adquiriu uma?

15. Caso não possua uma máquina de escrever em Braille, por qual motivo não possui?

16. Com que frequência você costuma usar a máquina de escrever em Braille?

Marcar apenas uma oval.

Nunca: nunca uso.

Raramente: uso de tempos em tempos.

Mensalmente: uso pelo menos uma vez por mês.

Semanalmente: uso pelo menos uma vez por semana.

Diariamente: uso todos os dias.

17. Em quais locais você utiliza a máquina Braille?

Marque todas que se aplicam.

CAP

Casa

Universidade

Trabalho

Outro:

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Apêndice F

Questionário de Experiência do Usuário

User Experience Questionnaire - Short Version (UEQ-S)

Fonte: Schrepp et al. (2017)

Mais informações disponíveis em: <https://www.ueq-online.org/>.

Último acesso: 26 nov. 2023

Experiência do Usuário - Litera Braille

Versão em português do UEQS - Versão curta do UEQ - User Experience Questionnaire
(<https://www.ueq-online.org/>)

Esse questionário é constituído por pares de características opostas relativas às propriedades do dispositivo. As graduações entre os opositos são representadas pelos números de 1 a 7. Ao escolher um número, estará expressando sua opinião sobre uma característica do dispositivo.

Exemplo:

	1	2	3	4	5	6	7	
Complicado					X			Fácil (Simples)

Esta resposta significa que considerou o dispositivo mais **fácil** do que **complicado**.

Marque a sua resposta da forma mais espontânea possível.

Por favor, assinale sempre uma resposta, mesmo que não tenha certezas sobre um par de termos ou que os termos não se enquadrem com o produto.

Não há respostas "certas" ou respostas "erradas". A sua opinião pessoal é que importa!

Por favor, dê-nos a sua avaliação atual do dispositivo em questão.

	1	2	3	4	5	6	7	
Obstrutivo (traz empecilhos)								Condutor (traz auxílio)
Complicado								Fácil (Simples)
Ineficiente								Eficiente
Confuso								Evidente (Compreensível)
Aborrecido (Agoniante)								Excitante (Animante)
Desinteressante								Interessante
Convencional								Original (inovador)
Comum								Vanguardista (moderno)

<https://docs.google.com/forms/d/1bQJtYI5x7rEhIPzWdEMFPEailbFcug7Mu5w2mBsrVUo>

Apêndice G

Questionário de Usabilidade

Accessible Usability Scale (AUS)

Mais informações disponíveis em: <https://makeitfable.com/accessible-usability-scale/>.

Último acesso: 26 nov. 2023

Usabilidade - Litera Braille

Baseado no AUS - Accessible Usability Scale (<https://makeitfable.com/accessible-usability-scale/>)

Marque de acordo com a sua opinião os seguintes itens: Marcar apenas uma opção por linha.	1 – (Discordo Totalmente)	2	3	4	5 – (Concordo Totalmente)
Eu gostaria de usar este dispositivo com frequência, quando precisasse, em minhas tarefas de estudo ou durante exercícios de prática do Braille.					
Achei o dispositivo desnecessariamente complexo.					
Achei o dispositivo fácil de usar.					
Acho que precisaria do apoio de outra pessoa para utilizar todos os recursos deste dispositivo.					
Achei que as funções do dispositivo faziam sentido e eram compatíveis com a finalidade do mesmo.					
Achei que havia muita inconsistência no funcionamento deste dispositivo.					
Imagino que a maioria das pessoas acostumadas a utilizar máquinas de escrever em Braille aprenderia a usar este dispositivo rapidamente.					
Achei o dispositivo muito complicado ou difícil de usar.					
Me senti muito confortável ao usar o dispositivo.					
Eu precisava me familiarizar mais com o dispositivo antes de poder usá-lo de maneira eficaz.					

<https://docs.google.com/forms/d/1VnxFeV5IkETZo2O3gNumAFvKhNqsQD0SO5pUVmLkNLg>

Apêndice H

Instrumento de Avaliação Aberta

Questões norteadores para realização de entrevista semiestruturada sobre as percepções do participante em relação ao Litera Braille.

Avaliação aberta do Litera Braille

1. Quais os pontos fortes que você enumeraria em relação ao dispositivo?

2. Quais os pontos fracos que você enumeraria em relação ao dispositivo?

3. Qual sua percepção em relação à utilidade do dispositivo?

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Inútil Útil

4. Campo para comentário em relação à utilidade do dispositivo.

5. Qual a sua percepção em relação à velocidade de funcionamento do dispositivo?

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Lent Boa velocidade

6. Campo para comentário em relação à velocidade de funcionamento do dispositivo

7. Qual a sua percepção em relação à legibilidade na marcação dos pontos do Braille?

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Ilegí Boa legibilidade

8. Campo para comentário em relação à legibilidade na marcação dos pontos do Braille

9. Você utilizaria este dispositivo para aprender ou praticar o Braille? Por que?

10. Quais são alguns comentários ou dúvidas que você tem em relação à acessibilidade e usabilidade deste dispositivo?

11. Você considera importante a existência de pesquisas que proponham novos dispositivos de Tecnologia Assistiva?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Apêndice I

Código Arduino

Código de programação da placa de prototipação Arduino para controle dos componentes do Litera Braille

CÓDIGO ARDUINO LITERA BRAILLE

```
// **** Bibliotecas ****
#include <Servo.h>
#include <AFMotor.h>

// **** Definições ****
#define botao1 27 //porta serial
#define botao2 25 //porta serial
#define botao3 23 //porta serial
#define botao4 31 //porta serial
#define botao5 33 //porta serial
#define botao6 35 //porta serial
#define botaoEspaco 29 //porta serial
#define botaoApagar 37 //porta serial
#define botaoRetroceder 39 //porta para botão que retorna a cabeça de impressão para a posição do caractere anterior
#define botaoPosicaoInicial 41 //porta para botão que posiciona a página para iniciar digitação
#define botaoLinha 45 //porta serial
#define portaServo1_4 2
#define portaServo2_3 10
#define portaServo5_6 9
#define buzzer 51
#define fimDeCurso 48
#define solenoide 47

/*
 * SINGLE: As bobinas são energizadas de maneira individual e possuem um torque razoável.
 * DOUBLE: As duas bobinas são alimentadas ao mesmo tempo, o que aumenta o torque
 * INTERLEAVE: Alterna entre as bobinas 1 e 2, aumentando a precisão
 * MICROSTEP: As bobinas adjacentes sofrem um movimento que cria um número de "micro passos", isso resulta em uma resolução mais fina e suave, porém faz com que o motor perca parte do seu torque.
 */
#define metodoMotorPasso INTERLEAVE

//Posições pré-definidas para os servomotores que marcam os pontos do Braille
//const int centro = 90; // 90º
const int centro_servo1_4 = 92;
const int centro_servo2_3 = 84;
const int centro_servo5_6 = 80;
int direita = 135; // 120º
int esquerda = 45; //60º

//Definições necessárias para os motores de passo
const int passosDoMotor = 200; // quantidade de passos de uma revolução de 360º do motor Nema 17 cujos passos são de 1,8º
```

```

const int deslocamentoCaractere = 80.95; // quantidade de passos do motor nema 17 para passar da
posição de uma cela para a outra
const int deslocamentoLinha = 150;//96;//48; // quantidade de passos do motor nema 17 para
passar da posição de uma linha para a outra
const int deslocamentoPapelApagarCaractere = 3 * deslocamentoLinha;

// Velocidades
const int velocidadeEscrita = 80;
const int velocidadeMovimentacao = 120;

//Outras constantes
const int maxCaracteresLinha = 22;
const int maxLinhas = 10; // ainda precisa calcular corretamente
const int tempoSensibilidadeBotoes = 100; // tempo para reduzir sensibilidade nos botões. Ou seja,
só começa a valer o botão pressionado após esse tempo
//const int tempoEntreGiros = 100;
//const int tempoRetornarCentro = 100;

// ***** Variáveis ****
Servo servo1_4, servo5_6, servo2_3; //servo1_4, por exemplo, é responsável por marcar os pontos 1
e 4 da Cela Braille
AF_Stepper motorX(passosDoMotor, 2);
AF_Stepper motorY(passosDoMotor, 1);
int status_botao1 = 0;
int status_botao2 = 0;
int status_botao3 = 0;
int status_botao4 = 0;
int status_botao5 = 0;
int status_botao6 = 0;
int status_botaoEspaco = 0;
int countCaracteres = 0;
int countLinhas = 0;

// ***** Declaração das funções ****
void lerBotoes();
bool temBotaoPressionado();
bool temBotaoComStatusAtivo();
bool temBotaoNaoPressionadoComStatusAtivo();
void marcarPontos(int status_botao1, int status_botao2, int status_botao3, int status_botao4, int
status_botao5, int status_botao6, int status_botaoEspaco);
void posicionarProximaLinha();
void posicionarProximoCaractere();
void retornarPosicaoCaractereAnterior();
void voltarInicioLinha();
void posicionarInicioLinha();
void liberarPagina();
void puxarNovaPagina();

```

```
void resetarStatus();
void apagarCaractere();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Define os pinos dos botões como entrada
  pinMode(botao1, INPUT);
  pinMode(botao2, INPUT);
  pinMode(botao3, INPUT);
  pinMode(botao4, INPUT);
  pinMode(botao5, INPUT);
  pinMode(botao6, INPUT);
  pinMode(botaoEspaco, INPUT);
  pinMode(botaoRetroceder, INPUT);
  pinMode(botaoApagar, INPUT);
  pinMode(botaoLinha, INPUT);
  pinMode(botaoPosicaoInicial, INPUT);

  servo1_4.attach(portaServo1_4);
  servo2_3.attach(portaServo2_3);
  servo5_6.attach(portaServo5_6);

  servo1_4.write(centro_servo1_4);
  servo2_3.write(centro_servo2_3);
  servo5_6.write(centro_servo5_6);

  motorX.setSpeed(velocidadeEscrita);
  motorY.setSpeed(velocidadeEscrita);

  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(fimDeCurso, INPUT);
  pinMode(solenoide, OUTPUT);
  digitalWrite(solenoide, LOW);

  posicionarInicioLinha();
}

void loop() {

  if (digitalRead(botaoPosicaoInicial)){
    delay(tempoSensibilidadeBotoes);
    if (digitalRead(botaoPosicaoInicial)){
      posicionarInicioLinha();
      puxarNovaPagina();
    }
  }
}
```

```

if (digitalRead(botaoLinha)){
    delay(tempoSensibilidadeBotoes);
    if (digitalRead(botaoLinha)){
        posicionaProximaLinha();
        countCaracteres = 0;
    }
}

if (digitalRead(botaoRetroceder)){
    delay(tempoSensibilidadeBotoes);
    if (digitalRead(botaoRetroceder)){
        retornarPosicaoCaractereAnterior();
    }
}

if (digitalRead(botaoApagar)){
    delay(tempoSensibilidadeBotoes);
    if (digitalRead(botaoApagar)){
        apagarCaractere();
    }
}

if (temBotaoPressionado()){
    delay(tempoSensibilidadeBotoes);
    lerBotoes();

    if (temBotaoComStatusAtivo()){
        if(temBotaoNaoPressionadoComStatusAtivo()){
            while(temBotaoPressionado()){
                lerBotoes();
                delay(10);
            }
            marcarPontos(status_botao1, status_botao2, status_botao3, status_botao4, status_botao5,
            status_botao6);
            resetarStatus();
        }
    }
}

void lerBotoes(){

    Serial.println("Método lerBotoes");

    if(digitalRead(botao1)){

```

```

status_bota01 = 1;
}

if(digitalRead(bota02)){
    status_bota02 = 1;
}

if(digitalRead(bota03)){
    status_bota03 = 1;
}

if(digitalRead(bota04)){
    status_bota04 = 1;
}

if(digitalRead(bota05)){
    status_bota05 = 1;
}

if(digitalRead(bota06)){
    status_bota06 = 1;
}

if(digitalRead(bota0Espaco)){
    status_bota0Espaco = 1;
}

}

bool temBota0Pressionado(){
    return digitalRead(bota01) || digitalRead(bota02) || digitalRead(bota03) || digitalRead(bota04) ||
digitalRead(bota05) || digitalRead(bota06) || digitalRead(bota0Espaco);
}

bool temBota0ComStatusAtivo(){
    Serial.println("Método temBota0ComStatusAtivo");
    return status_bota01 || status_bota02 || status_bota03 || status_bota04 || status_bota05 ||
status_bota06 || status_bota0Espaco;
}

bool temBota0NaoPressionadoComStatusAtivo(){
    Serial.println("Método temBota0NaoPressionadoComStatusAtivo");
    return (status_bota01 && !digitalRead(bota01)) || (status_bota02 && !digitalRead(bota02)) ||
(status_bota03 && !digitalRead(bota03)) || (status_bota04 && !digitalRead(bota04)) ||
    || (status_bota05 && !digitalRead(bota05)) || (status_bota06 && !digitalRead(bota06)) ||
(status_bota0Espaco && !digitalRead(bota0Espaco));
}

```

```

void marcarPontos(int status_botao1, int status_botao2, int status_botao3, int status_botao4, int
status_botao5, int status_botao6){
  Serial.println("Método marcarPontos");
  int tempoEntreServos = 150;
  int tempoEntreGiros = 00;
  int tempoRetornarCentro = 150;
  int diferenca_centro = 45;
  if(status_botao1){
    esquerda = centro_servo1_4 - diferenca_centro;
    servo1_4.write(esquerda);
    delay(tempoEntreServos);
  }
  if(status_botao3){
    esquerda = centro_servo2_3 - diferenca_centro;
    servo2_3.write(esquerda);
    delay(tempoEntreServos);
  }
  if(status_botao5){
    esquerda = centro_servo5_6 - diferenca_centro;
    servo5_6.write(esquerda);
    delay(tempoEntreServos);
  }
  if(status_botao1 || status_botao3 || status_botao5){
    delay(tempoEntreGiros);
    servo1_4.write(centro_servo1_4);
    servo2_3.write(centro_servo2_3);
    servo5_6.write(centro_servo5_6);
    delay(tempoRetornarCentro);
  }
  if(status_botao2){
    esquerda = centro_servo2_3 + diferenca_centro;
    servo2_3.write(direita);
    delay(tempoEntreServos);
  }
  if(status_botao4){
    esquerda = centro_servo1_4 + diferenca_centro;
    servo1_4.write(direita);
    delay(tempoEntreServos);
  }
  if(status_botao6){
    esquerda = centro_servo5_6 + diferenca_centro;
    servo5_6.write(direita);
    delay(tempoEntreServos);
  }
}

```

```

    }

if(status_botao2 || status_botao4 || status_botao6){
    delay(tempoEntreGiros);
    servo1_4.write(centro_servo1_4);
    servo2_3.write(centro_servo2_3);
    servo5_6.write(centro_servo5_6);
    delay(tempoRetornarCentro);
}
posicionarProximoCaractere();
}

```

```

void posicionarProximoCaractere(){
    Serial.println("Método posicionarProximoCaractere");
    countCaracteres++;
    Serial.println("Quant Caractere = " + String(countCaracteres));
    if (countCaracteres >= maxCaracteresLinha - 1){
        // Aciona o buzzer na frequência relativa ao Ré em Hz
        tone(buzzer,293);
        delay(200);
        noTone(buzzer);
    }
    if (countCaracteres >= maxCaracteresLinha){
        delay(100);
        // Aciona o buzzer na frequência relativa ao Ré em Hz
        tone(buzzer,293);
        delay(200);
        noTone(buzzer);
        posicaoProximaLinha();
        countCaracteres = 0;
        return;
    }
    motorX.step(deslocamentoCaractere, BACKWARD, metodoMotorPasso);
    motorX.release();
}

```

```

void retornarPosicaoCaractereAnterior(){
    Serial.println("Método retornarPosicaoCaractereAnterior");
    Serial.println("Quant Caractere = " + String(countCaracteres));
    if (countCaracteres <= 2){
        // Aciona o buzzer na frequência relativa ao Ré em Hz
        tone(buzzer,293);
        delay(200);
        noTone(buzzer);
    }
    if (countCaracteres <= 1){

```

```

delay(100);
// Aciona o buzzer na frequênci a relativa ao Ré em Hz
tone(buzzer,293);
delay(200);
noTone(buzzer);
}
if (countCaracteres <= 0){
delay(100);
// Aciona o buzzer na frequênci a relativa ao Ré em Hz
tone(buzzer,293);
delay(200);
noTone(buzzer);
countCaracteres = 0;
return;
}

if (countCaracteres > 0){
motorX.step(deslocamentoCaractere, FORWARD, metodoMotorPasso);
motorX.release();
countCaracteres--;
Serial.println("Quant Caractere 2 = " + String(countCaracteres));
}
}

void apagarCaractere(){
Serial.println("Método apagarCaractere");
tone(buzzer,293);
//delay(200);
//noTone(buzzer);
motorY.step(deslocamentoPapelApagarCaractere, BACKWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
noTone(buzzer);
//apaga
for (int i = 0; i < 5; i++){
Serial.println("Entrou no for");
digitalWrite(solenoide, HIGH);
delay(150);
digitalWrite(solenoide, LOW);
delay(200);
}
tone(buzzer,293);
motorY.step(deslocamentoPapelApagarCaractere, FORWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
noTone(buzzer);
}

void posicionaProximaLinha(){

```

```

Serial.println("Método posicionaProximaLinha");
posicionarInicioLinha();
countLinhas++;
if (countLinhas >= maxLinhas){
    liberarPagina();
    countLinhas = 0;
    return;
}
motorY.step(deslocamentoLinha, BACKWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
}

void posicionarProximaLinha(int quantCaretteresDeslocamento){
Serial.println("Método posicionarProximaLinha");
voltarInicioLinha(quantCaretteresDeslocamento);
countLinhas++;
if (countLinhas >= maxLinhas){
    liberarPagina();
    countLinhas = 0;
    return;
}
motorY.step(deslocamentoLinha, BACKWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
}

void posicionarInicioLinha(){
Serial.println("Método posicionarInicioLinha");
motorX.setSpeed(velocidadeMovimentacao);
while(!digitalRead(fimDeCurso)){
    motorX.step(1, FORWARD, metodoMotorPasso);
}
motorX.release();
motorX.setSpeed(velocidadeEscrita);
}

void voltarInicioLinha(int quantCaretteresDeslocamento){
Serial.println("Método voltarInicioLinha");
int quantPassosRetornar = quantCaretteresDeslocamento * deslocamentoCaractere;
motorX.setSpeed(velocidadeMovimentacao);
motorX.step(quantPassosRetornar, FORWARD, metodoMotorPasso);
motorX.release();
motorX.setSpeed(velocidadeEscrita);
}

void liberarPagina(){
Serial.println("Método liberarPagina");
}

```

```
int deslocamentoLiberarPagina = deslocamentoLinha * 3; //quantidade de linhas para o final da
página
motorY.setSpeed(velocidadeMovimentacao);
motorY.step(deslocamentoLiberarPagina, BACKWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
motorY.setSpeed(velocidadeEscrita);
}

void puxarNovaPagina(){ //acionado pelo botão de posicionar nova página - Futuramente pode ser
controlado por um sensor que identifique o término do papel e início de outro
Serial.println("Método puxarNovaPagina");
int deslocamentoPosicionarNovaPagina = deslocamentoLinha * 4; //quantidade de linhas para o
final da página
motorY.setSpeed(velocidadeMovimentacao);
motorY.step(deslocamentoPosicionarNovaPagina, BACKWARD, metodoMotorPasso);
motorY.release();
motorY.setSpeed(velocidadeEscrita);
}

void resetarStatus(){
Serial.println("Método resetarStatus");
status_botao1 = 0;
status_botao2 = 0;
status_botao3 = 0;
status_botao4 = 0;
status_botao5 = 0;
status_botao6 = 0;
status_botaoEspaco = 0;
}
```

Apêndice J

Orçamento

**Orçamento de peças e partes necessárias para montagem
do Litera Braille**

Orçamento

Item	DESCRIÇÃO	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	QUANT	TOTAL (R\$)
01	Placa Arduino Mega 2560	165,00	1	165,00
02	Driver motor L293D	25,00	1	25,00
03	Micro Servo Motor MG90S	25,00	3	75,00
04	Fonte 12v 5a Plug P4	20,00	1	20,00
05	Conecotor Jack P4 Fêmea	2,00	1	2,00
06	Regulador de Tensão LM2596	20,00	1	20,00
07	Motor de passo similar ao Nema 17 1,8º	35,00	2	70,00
08	Kit Correia dentada + Polia e Tensor 20 dentes Eixo 5mm	25,00	1	25,00
09	Kit Parafuso e Porcas para fixar o Tensor	3,00	1	3,00
10	Kit Parafuso e Porca para fixar a Correia Dentada na cabeça de impressão	2,00	2	4,00
11	Acoplamento Flexível Alumínio 5x8 mm	10,00	1	10,00
12	Rolamento Linear Longo 6mm LM6LUU	15,00	2	30,00
13	Eixo Barra Retificado H7 6mm x 300mm	12,00	2	24,00
14	Rolete de sucata de impressora	0,00	1	0,00
15	Rolamento pequeno 8mm interno para rolete	8,00	1	8,00
16	Microswitch chave Fim de Curso	5,00	1	5,00
17	Chave Tátil Push Button com capa	1,00	11	11,00
18	Solenóide 12v JF-0530b	18,00	1	18,00
19	Relé para Arduino para controle do Solenoide	5,00	1	5,00
20	Estrutura em MDF (apenas material necessário)	≈ 30,00	1	≈ 30,00
21	Serviço de empresa de Corte de MDF à Laser (caso a pessoa não tenha como fazer em alguma instituição)	≈ 100,00	1	≈ 100,00
TOTAL (R\$)				650,00

Obs.: Orçamento inicialmente realizado em março de 2023 e atualizado em agosto de 2023 para inclusão de peças necessárias à implementação das melhorias para a versão atual.