



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

VICTOR HAZIN DA ROCHA

**UM MÉTODO PARA ENSINO DE BRAILLE UTILIZANDO DISPLAY TÁTIL**

Recife  
2020

VICTOR HAZIN DA ROCHA

**UM MÉTODO PARA ENSINO DE BRAILLE UTILIZANDO DISPLAY TÁTIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Computação.

**Área de concentração:** Mídia e Interação.

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando da Fonseca de Souza.

Recife  
2020

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Cristiano Cosme S. dos Anjos, CRB4-2290

R672m Rocha, Victor Hazin da  
Um método para ensino de braille utilizando display tátil /Victor Hazin da  
Rocha. – 2020.  
102 f.: il., fig., tab.

Orientador: Fernando da Fonseca de Souza.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN, Ciências da  
Computação, Recife, 2020.  
Inclui referências e apêndices.

1. Mídia e Interação. 2. Software Educacional. 3. Ensino de braille. 4. Display  
braille. I. Souza, Fernando da Fonseca de (orientador). II. Título.

006.7

CDD (22. ed.)

UFPE-CCEN 2021-56

Victor Hazin da Rocha

**Um método para ensino de Braille utilizando display tátil**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Aprovado em: 27/11/2020.

---

**Orientador: Prof. Dr. Fernando da Fonseca de Souza**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Ana Carolina Brandão Salgado  
Centro de Informática / UFPE

---

Profa. Dra. Maria Salete Marcon Gomes Vaz  
Departamento de Informática / UEPG

---

Profa. Dra. Tatiana Aires Tavares  
Departamento de Informática / UFPel

---

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior  
Departamento de Informática e Matemática Aplicada / UFRN

---

Profa. Dra. Flávia Maria Santoro  
Instituto de Matemática e Estatística / UERJ

À minha Mãe, Carla Hazin, por todo amor, dedicação e incentivo aos estudos. À Maria Eduarda, o amor da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que, nos momentos mais difíceis, me deu forças para seguir e não desistir deste sonho. À minha mãe, que sempre foi a maior incentivadora da minha educação, seria impossível chegar até aqui sem todo seu apoio e amor, espero que esteja orgulhosa aí em cima.

À minha esposa, Maria Eduarda, minha Maria, por não ter me deixado desistir deste sonho e por ter aguentado tudo ao meu lado com o maior amor do mundo. Ao Roberto, sempre um grande incentivador nos estudos, que, desde que entrou na minha vida, tem sido muito mais que um pai. Aos meus amados irmãos, Lucas e Vinícius, não tem como agradecer por tudo que vocês são pra mim. Às minhas avós, Júlia e Lúcia, e a toda minha família pelo amor e incentivo aos estudos.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador, professor Fernando Fonseca, por ter dado todo suporte para a realização deste trabalho e por suas excelentes revisões. Ao meu amigo e exemplo Felipe Ferraz, por me ajudar em mais essa etapa da minha vida acadêmica, por toda cobrança e apoio nos momentos mais difíceis.

Não posso esquecer de agradecer à minha avó Alba, meus avôs, Elias, Fernando e Rocha, e meu pai, Inácio, que já não se encontram mais aqui, mas que eu sei que, onde quer que estejam, estão olhando por mim e felizes com esta conquista.

Ao CESAR e ao CESAR *School*, como instituições, escola e fonte de inúmeras amizades. Aos meus amigos e colaboradores para construção dessa solução, Álvaro Maia, Diogo Lacerda, Luiz Lago e Guthembergue Silva.

Aos meus amigos, que, para não cometer a indelicadeza de esquecer algum nome, não citarei nominalmente. Não quero apenas agradecer, mas sim me desculpar por tantas ausências durante esses anos, sempre serei grato a vocês pela amizade verdadeira.

A todos que fazem parte do Centro de Informática, onde passei 14 anos da minha vida, meu muito obrigado!

*“A vida não é sobre quão duro você é capaz de bater, mas sobre quão duro você é capaz de apanhar e continuar indo em frente” (ROCKY, 2006)*

## RESUMO

O número de deficientes visuais vem aumentando nos últimos anos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), até 2050, pode haver mais de 115 milhões de pessoas cegas no mundo. A alfabetização em Braille para pessoas com deficiência visual, principalmente as com cegueira total, possui o mesmo papel que os métodos educacionais tradicionais para pessoas sem problemas de visão. Apesar da importância do domínio da leitura e escrita em Braille para os deficientes visuais, o processo de ensino de Braille continua a ser negligenciado e pouco evoluiu desde a invenção desse sistema. Deve-se ainda ressaltar que a taxa de alfabetização desta parte da população vem caindo consideravelmente ao longo dos anos. No Brasil, a taxa de alfabetização dos deficientes visuais é menor que 10%. Segundo pesquisas recentes, a falta de instrutores aptos a alfabetizar em Braille é um dos principais fatores para esse problema (AWANG DAMIT et al., 2014; NATIONAL FEDERATION OF THE BLIND, 2015; PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; WAGH et al., 2016). Assim, este trabalho tem como objetivo criar um dispositivo e método de uso, visando aumentar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano, de modo a serem utilizados para o treinamento de professores, instrutores e colegas de classe de alunos deficientes visuais, sem a necessidade de intervenção humana neste processo. Este trabalho, portanto, apresenta o *Braille Reader Tutor* (BRT), uma aplicação para *smartphones*, e o DISBRA, um *display* Braille *open source*, capazes de ensinar a identificação e mapeamento das letras do alfabeto romano para o seu equivalente no sistema Braille. Nos experimentos realizados com o BRT e DISBRA, após em média 90 minutos de treinamento, os participantes foram capazes de reconhecer 69,23% das letras do alfabeto em Braille com a inspeção tátil e olhos vendados, e 86,82% quando a leitura foi realizada sem os olhos vendados, o que indicou que o BRT é uma alternativa válida e eficaz para o ensino de Braille a distância. A usabilidade dos artefatos e do processos de treinamento também foi mensurada com a aplicação do questionário *System Usability Scale*, obtendo a nota média de 86,5 pontos, pontuação a qual, segundo Bangor, Kortum e Miller (2009), representa que o objeto estudado possui uma excelente usabilidade.

**Palavras-chave:** *Software* Educacional. Ensino de braille. *Display* braille. Acessibilidade.

## ABSTRACT

The number of visually impaired people has increased in recent years. The World Health Organization (WHO) estimates 115 million people might be visually impaired by 2050 around the world. Alphabetization using Braille for visually impaired people, especially people who are completely blind, has the same purpose as the traditional educational methods for people who are not visually impaired. Despite the importance of mastering the ability to read and write in Braille for visually impaired people, the Braille teaching process continues to be neglected and has poorly evolved since its first development. It is important to emphasize that the rate of alphabetization of this part of the population has declined considerably over the years. The alphabetization rate of visually impaired people in Brazil is less than 10%. New research shows that one of the most important factors contributing to this problem is the absence of instructors able to teach the Braille system. (AWANG DAMIT et al., 2014; NATIONAL FEDERATION OF THE BLIND, 2015; PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; WAGH et al., 2016). Thus, the objective of this thesis is to develop a device and method of use, to increase the capacity of recognition and mapping of Braille characters to the Roman alphabet, in order to be used to train teachers, instructors and classmates of visually impaired students without the need of human intervention in the process. This work introduces the Braille Reader Tutor (BRT), an application for smartphones, and DISBRA, a Braille open-source display that are able to teach how to identify and map the letters of Roman alphabet to their Braille equivalent. The result of experiments using BRT and DISBRA for an average of 90 minutes of training showed that blindfolded participants were able to recognize 69.23% of the alphabet letters in Braille by tactile inspection and 86.82% when participants were not blindfolded, which indicates that BRT is a valid alternative for teaching Braille remotely. The usability of the artifacts and the training process were also measured by the questionnaire System Usability Scale, achieving an average score of 86.5, which indicates that the object of study has excellent usability, according to Bangor, Kortum e Miller (2009).

**Keywords:** Educational Software. Braille teaching. Braille display. Accessibility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protocolo da Revisão da Literatura .....	20
Figura 2 - Fases da Pesquisa-Ação .....	24
Figura 3 - Célula Braille.....	29
Figura 4 - Alfabeto em Braille .....	29
Figura 5 - Esquema Simplificado de um Display Braille .....	31
Figura 6 - Objetos Utilizados para Alfabetização em Braille .....	32
Figura 7 - Reglete e Punção .....	33
Figura 8 - Máquina de Escrever Braille .....	33
Figura 9 - Tela do <i>Software Praticemill</i> Utilizado pelos Pesquisadores .....	40
Figura 10 – Display Braille Utilizado pelos Alunos e Transmissor Utilizado pelo instrutor .....	42
Figura 11 - Protótipo Eletrônico para Ensino do Sistema Braille.....	44
Figura 12 – Protótipo .....	45
Figura 13 - Display Braille Desenvolvido por Schmidt et al. (2014) .....	47
Figura 14 - Protótipo do Relógio de Pulso com Display Braille .....	49
Figura 15 - Protótipo .....	50
Figura 16 - Protótipo do <i>Display Braille</i> .....	51
Figura 17 - <i>BrailleNote</i> GPS .....	52
Figura 18 - <i>Dot Smartwatch</i> .....	53
Figura 19 – Macro Arquitetura do BRT.....	57
Figura 20 - Diagrama de Classes da Aplicação .....	57
Figura 21 - Telas Inicial (A) e de Módulos da Aplicação (B) .....	58
Figura 22 - Tela de Ensino.....	59
Figura 23 - Tela de Avaliação.....	60
Figura 24 - Combinações Possíveis dos Pontos Braille .....	62
Figura 25 - Modelo 3D.....	63
Figura 26 - Esquema Eletrônico do DISBRA .....	63
Figura 27 – Display Braille DISBRA .....	64
Figura 28 - Percentual de Acerto por Nível .....	74
Figura 29 - Comparação das Classificações de Adjetivo, Pontuações de Aceitabilidade e Escalas de Notas Escolares, em Relação à Pontuação Média do SUS .....	75
Figura 30 – Perguntas da Entrevista Qualitativa.....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de Avaliação das Hipóteses .....	17
Quadro 2 - Quadro Metodológico.....	19
Quadro 3 - Resultado da Revisão da literatura .....	21
Quadro 4 - Resultados da Atualização da Revisão da Literatura.....	22
Quadro 5 - Tipos de <i>Display</i> Braille de acordo com o Movimento do Dedo e da Superfície .....	31
Quadro 6 - Critérios para Análise de Artigos sobre o Ensino de Braille .....	39
Quadro 7 - Resumo da Análise do Trabalho de Scheithauer e Tiger (2012).....	41
Quadro 8 - Resumo da Análise do Trabalho de Toussaint et al. (2017).....	42
Quadro 9 - Resumo da Análise do Trabalho de Gandhi, Thakker e Jha (2016) .....	43
Quadro 10 - Resumo da Análise do Trabalho de Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016).....	44
Quadro 11 - Resumo da Análise do Trabalho de Peñaloza-Mendoza et al. (2020).....	45
Quadro 12 - Critérios para Análise de Artigos sobre <i>Displays</i> Braille.....	46
Quadro 13 - Resumo da Análise do Trabalho de Schmidt et al. (2014).....	47
Quadro 14 - Resumo da Análise do Trabalho de Reis (2013) .....	48
Quadro 15 - Resumo da Análise do Trabalho de Minatani (2016).....	50
Quadro 16 - Resumo da Análise do Trabalho de Sutariya et al. (2018) .....	51
Quadro 17 - Resumo da Análise do Trabalho de Hassan et al. (2020).....	52
Quadro 18 - Resumo da Análise do <i>BrailleNote GPS</i> .....	53
Quadro 19 - Resumo da Análise do <i>Dot Smartwatch</i> .....	54
Quadro 20 - Composição dos Níveis dos Módulos de Ensino e Avaliação.....	55
Quadro 21 - Tipos de Mensagens do DISBRA.....	65
Quadro 22 - Caracterização dos Voluntários .....	66
Quadro 23 - Resultados dos Trabalhos Encontrados na Revisão da Literatura.....	66
Quadro 24 - Quadro Comparativo dos Trabalhos Relacionados de Ensino de Braille e BRT .....	79
Quadro 25 - Quadro Comparativo dos Trabalhos Relacionados de <i>Display</i> de Braille e BRT.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas Descritivas das Pontuações da Escala SUS por Classificações Adjetivas.....	35
Tabela 2 - Número e Porcentagem de Erros em cada Nível por Participante.....	41
Tabela 3 - Resultados dos Testes do Voluntário 1.....	70
Tabela 4 - Resultados dos Testes do Voluntário 2.....	70
Tabela 5 - Resultados dos Testes do Voluntário 3.....	71
Tabela 6 - Resultados dos Testes do Voluntário 4.....	73
Tabela 7 - Resultados dos Testes do Voluntário 5.....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b><i>INTRODUÇÃO</i></b> .....	<b>14</b>
1.1	CONTEXTO .....	14
1.2	MOTIVAÇÃO .....	15
1.3	PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA .....	16
1.4	HIPÓTESE.....	16
1.5	OBJETIVOS .....	17
<b>1.5.1</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
1.6	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	17
<b>2</b>	<b><i>MÉTODO DE PESQUISA</i></b> .....	<b>19</b>
2.1	PRIMEIRA FASE: REVISÃO DA LITERATURA .....	20
2.2	SEGUNDA FASE: PESQUISA-AÇÃO.....	23
<b>2.2.1</b>	<b>Avaliação Final da Pesquisa-Ação</b> .....	<b>25</b>
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	27
<b>3</b>	<b><i>REFERENCIAL CONCEITUAL</i></b> .....	<b>28</b>
3.1	DEFICIÊNCIA VISUAL.....	28
3.2	SISTEMA BRAILLE.....	28
3.3	DISPLAYS BRAILLE.....	30
3.4	ALFABETIZAÇÃO EM BRAILLE.....	32
3.5	USABILIDADE.....	34
<b>3.5.1</b>	<b>System Usability Scale (SUS)</b> .....	<b>35</b>
3.6	ACESSIBILIDADE.....	36
<b>3.6.1</b>	<b>Tecnologia Assistiva e Deficiência Visual</b> .....	<b>36</b>
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	38
<b>4</b>	<b><i>TRABALHOS RELACIONADOS</i></b> .....	<b>39</b>
4.1	ENSINO DE BRAILLE.....	39
<b>4.1.1</b>	<b>A Computer-Based Program to Teach Braille Reading to Sighted Individuals</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Teaching Identity Matching of Braille Characters to Beginning Braille Readers</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Braille Cell Actuator Based Teaching System For Visually Impaired Students</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Braille Teaching Electronic Prototype</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Design of an Electronic Prototype to Teach Braille</b> .....	<b>44</b>
4.2	DISPLAYS BRAILLE.....	46
<b>4.2.1</b>	<b>Single Braille Cell</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Painel Braille Interativo</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.3</b>	<b>A Proposal for a User Interface With a Several-Cell Refreshable Braille Display: A Case of a Wristwatch-Shaped Wireless Refreshable Braille Display</b> .....	<b>49</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Refreshable Braille Display For The Visually Impaired</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2.5</b>	<b>A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.6</b>	<b>BrailleNote Gps</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Dot Smartwatch</b> .....	<b>53</b>
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	54

5	<b><i>UM MÉTODO PARA ENSINO DE BRAILLE UTILIZANDO DISPLAY TÁTIL.....</i></b>	<b>55</b>
5.1	O BRAILLE READER TUTOR .....	55
5.2	O BRT APP.....	56
<b>5.2.1</b>	<b>Componente de Ensino e Avaliação .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Componente de Entrada/Saída.....</b>	<b>60</b>
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	65
<b>6</b>	<b><i>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</i></b>	<b>66</b>
6.1	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO TREINAMENTO .....	68
<b>6.1.1</b>	<b>Resultados do Treinamento do Voluntário 1.....</b>	<b>69</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Resultados do Treinamento do Voluntário 2.....</b>	<b>70</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Resultados do Treinamento do Voluntário 3.....</b>	<b>71</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Resultados do Treinamento do Voluntário 4.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1.5</b>	<b>Resultados do Treinamento do Voluntário 5.....</b>	<b>73</b>
<b>6.1.6</b>	<b>Resumo dos Resultados do Treinamento de Todos os Participantes .....</b>	<b>74</b>
6.2	RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE USABILIDADE .....	75
6.3	COMPARAÇÃO COM OS TRABALHOS RELACIONADOS .....	76
<b>6.3.1</b>	<b>Comparação do BRT com os Trabalhos de Ensino de Braille.....</b>	<b>76</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Comparação do DISBRA com os Trabalhos de Displays Braille .....</b>	<b>79</b>
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	81
<b>7</b>	<b><i>CONCLUSÃO .....</i></b>	<b>82</b>
7.1	CONTRIBUIÇÕES E INOVAÇÕES .....	83
7.2	LIMITAÇÕES .....	83
7.3	TRABALHOS FUTUROS .....	84
	<b><i>REFERÊNCIAS.....</i></b>	<b>85</b>
	<b><i>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SYSTEM USABILTY SCALE.....</i></b>	<b>93</b>
	<b><i>APÊNDICE B – PARECER DO CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UFPE.....</i></b>	<b>96</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve o contexto do trabalho, o problema a ser abordado, as questões a que esta pesquisa pretende responder, as hipóteses que sustentam as decisões tomadas com base em uma revisão sistemática da literatura, os objetivos gerais e específicos e, finalmente, a estrutura deste trabalho.

## 1.1 CONTEXTO

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), há cerca de 1 bilhão de pessoas com 15 anos ou mais que vivem com algum tipo de deficiência. Dentre essas, aproximadamente 253 milhões sofrem com problemas graves de visão, das quais aproximadamente 36 milhões são consideradas completamente cegas (WHO, 2015). A OMS ainda estima que 19 milhões de crianças (com idade inferior a 15 anos) tenham problemas de visão, das quais cerca de 1,4 milhão têm cegueira irreversível, exigindo acesso a serviços de reabilitação visual para melhorar sua qualidade de vida e aumentar seu grau de independência. (HAZIN DA ROCHA *et al.*, 2019; WHO, 2015)

Alguns estudos afirmam que esse número pode triplicar devido ao crescimento populacional e ao envelhecimento da população. Dessa forma, até 2050, pode haver mais de 115 milhões de pessoas cegas, em comparação com a projeção de 38,5 milhões em 2020 (BOURNE *et al.*, 2017; WHO, 2015).

Uma vez que a leitura e a escrita ocupam um papel central na sociedade, sendo habilidade indispensável para se ascender a níveis educacionais mais aprimorados ou mesmo conseguir um emprego, é indispensável para a autonomia de um deficiente visual que ele seja alfabetizado (AWANG DAMIT *et al.*, 2014; TOUSSAINT *et al.*, 2017). A alfabetização em Braille para pessoas com deficiência visual tem o mesmo papel que os métodos educacionais tradicionais têm para pessoas sem problemas de visão. A educação inclusiva para deficientes visuais tem sido uma preocupação mundial. O rápido desenvolvimento tecnológico vem criando desafios adicionais para essa parcela da população, especialmente para aqueles que não possuem conhecimentos básicos como ler e escrever.

Apesar da importância do domínio da leitura e escrita em Braille para os deficientes visuais, o processo de ensino de Braille continua a ser negligenciado e pouco evoluiu desde a invenção desse sistema. Ler é fundamental e tem seu reconhecimento e utilização mais frequentes na atualidade, pelo papel social que a leitura tem assumido. Não ser capaz de ler traz prejuízos que vão desde o desenvolvimento pessoal e profissional até a ampliação das desigualdades sociais.

Essa ampliação das desigualdades, no caso de quem tem uma deficiência, é alargada, pois muitas vezes a deficiência é atribuída como uma limitação para a alfabetização do deficiente visual, o que comprovadamente não é o caso, já que milhões de cegos, congênitos ou não, aprenderam a ler e escrever por meio das técnicas de leituras apropriadas a eles (SANDES, 2013).

Esta pesquisa foca no Braille como mecanismo de leitura para deficientes visuais, porque essa foi a primeira técnica desenvolvida que permitiu que eles pudessem frequentar uma escola regular, além de ser a única apta para todo o público de pessoas com deficiência visual. Atende-se, assim, às necessidades

dos cegos-surdos, permitindo sobretudo a autonomia para a leitura, pois o leitor independe de qualquer outro indivíduo (SANDES, 2013).

A alfabetização em Braille é um dos principais fatores que auxiliam o deficiente visual a evoluir na sua educação e conseguir emprego, uma vez que nem todas as atividades profissionais podem ser desenvolvidas por cegos, por serem atividades que precisam do uso da visão. Dessa forma, reduzindo o mercado de trabalho e restringindo as atividades que podem ser feitas sem a visão, aumenta a necessidade do deficiente visual de adquirir conhecimento. Nesse momento, a leitura é uma arma contra o preconceito e a favor da inclusão (GUERREIRO *et al.*, 2013; SANDES, 2013).

Enquanto aumenta o número de deficientes visuais no mundo, a taxa de alfabetização dessa parte da população vem caindo consideravelmente nos últimos anos. Nos Estados Unidos, por exemplo, o percentual de indivíduos cegos capazes de ler em Braille é por volta de 12%, enquanto, na década de 1960, era de 50% (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; SCHEITHAUER; TIGER, 2012; TOUSSAINT *et al.*, 2017). O cenário é ainda pior quando se considera que mais de 90% dos deficientes visuais vive em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a taxa de alfabetização desses deficientes visuais é menor que 10% (AWANG DAMIT *et al.*, 2014; WAGH *et al.*, 2016).

Entre os motivos para esses números tão preocupantes, estão a falta de professores proficientes no ensino de Braille. Além disso, falta treinamento para professores que possuem em suas turmas crianças cegas. Há, também, descaso por parte de muitos educadores, os quais não acham que a instrução em Braille seja necessária (AWANG DAMIT *et al.*, 2014; NATIONAL FEDERATION OF THE BLIND, 2015; PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; WAGH *et al.*, 2016).

## 1.2 MOTIVAÇÃO

No processo de aprendizado de Braille, a primeira habilidade que precisa ser desenvolvida é a identificação dos caracteres lidos e a sua correspondência com o alfabeto romano (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015), dado que os caracteres Braille podem ser mapeados um a um para os números e letras que formam o alfabeto romano. Além das 26 letras, dos números e sinais de pontuação, o método Braille inclui 187 contrações para palavras comuns e combinações de letras.

A identificação de caracteres Braille é uma das habilidades fundamentais que professores que possuem deficientes visuais nas suas turmas precisam ter (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; TOUSSAINT *et al.*, 2017). Dessa forma, é fundamental o desenvolvimento de soluções para ensinar a videntes as habilidades necessárias para serem capazes de ler e fornecer instruções em Braille. Apesar da constatação, poucas pesquisas abordam essa questão (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015). Então, uma oportunidade de pesquisa para fazer frente à situação retratada acima é investigar e desenvolver instrumentos capazes de ensinar a identificação de caracteres em Braille e sua correspondência com o alfabeto romano, sem a necessidade de um tutor humano.

### 1.3 PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

O problema principal que norteia esta pesquisa é o fato de que apenas uma pequena parte da população de deficientes visuais é proficiente na leitura em Braille (DAMIT et al., 2014; WAGH et al., 2016) e um dos principais fatores para esse déficit é a falta de instrutores aptos a alfabetizar pessoas em Braille (DAMIT et al., 2014; NATIONAL FEDERATION OF THE BLIND, 2015; PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015; WAGH et al., 2016).

Este trabalho pretende responder à seguinte questão de pesquisa: **Como melhorar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille, associando-os ao alfabeto romano e dispensando instrutores presenciais, para pessoas sem problema de visão?**

É importante ressaltar que as habilidades de leitura em Braille de um vidente podem ser diferentes das habilidades do leitor deficiente visual. Pois, uma vez que não possuem problemas de visão, a leitura pode ser realizada com uma inspeção visual, ao invés da inspeção tátil utilizada pelas pessoas com problemas graves de visão (SCHEITHAUER; TIGER, 2012).

### 1.4 HIPÓTESE

A partir da problemática, tem-se a Hipótese de Pesquisa a ser avaliada:

**“A solução proposta nesta tese melhora a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano de videntes sem a necessidade de um instrutor presencial, com uma boa usabilidade”**

Para a validação da hipótese, foram criadas previsões de hipótese incluindo dois pontos que devem ser avaliados separadamente: a **usabilidade da solução** e **reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano**.

- **P0:** É a confirmação da hipótese;
- **P1:** A adoção da solução proposta nesta tese **não** aumenta a capacidade de pessoas videntes de reconhecer os caracteres Braille e mapear corretamente para as letras do alfabeto romano sem a necessidade de auxílio de um instrutor.
- **P2:** A adoção da solução proposta nesta tese **não** aumenta a capacidade dos professores de reconhecimento tátil dos caracteres Braille sem a necessidade de auxílio de um instrutor.
- **P3:** A solução proposta **não** possui uma boa usabilidade.

Os critérios de avaliação dessas previsões podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios de Avaliação das Hipóteses

Critérios de validação das previsões	
<b>P0: CONFIRMAÇÃO DA HIPÓTESE</b>	Para confirmar essa previsão e, conseqüentemente, a hipótese, é necessário que as outras três propostas sejam negadas.
<b>P1: CAPACIDADE DE RECONHECIMENTO VISUAL DOS CARACTERES BRAILLE</b>	Medição da quantidade de caracteres que a pessoa consegue reconhecer e mapear em um texto impresso em Braille com inspeção visual dos símbolos.
<b>P2: CAPACIDADE DE RECONHECIMENTO TÁTIL DOS CARACTERES BRAILLE</b>	Medição da quantidade de caracteres que a pessoa consegue reconhecer e mapear em um texto impresso em Braille com inspeção tátil dos símbolos.
<b>P3: USABILIDADE</b>	Medida pela qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com efetividade, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico (JOKELA <i>et al.</i> , 2003)  Medida utilizando o método <i>System Usability Scale</i> (BROOKE, 1995)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

## 1.5 OBJETIVOS

Considerando a questão de pesquisa e as hipóteses descritas, é possível definir o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho. Este trabalho tem como objetivo geral **criar um método de ensino capaz de aumentar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano de videntes, sem a necessidade de auxílio de um professor de Braille.**

### 1.5.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Definir critérios para o desenvolvimento de tecnologia assistiva voltada para a interação com dispositivos móveis de modo a assegurar a sua eficácia junto ao seu público-alvo;
- Definir requisitos necessários para desenvolver uma solução levando em conta os critérios de qualidade de Interface Humano-Computador (IHC) quanto à acessibilidade e usabilidade a serem asseguradas;
- Criar uma aplicação que implemente a metodologia proposta;
- Criar um *display* Braille Dinâmico de baixo custo para ser utilizado na solução;
- Desenvolver um método para o uso adequado do dispositivo;

## 1.6 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Além deste, o trabalho é dividido em mais cinco capítulos, como segue.

- **Capítulo 2:** Método de Pesquisa

Apresentação da metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. No que se refere aos métodos de pesquisa, o trabalho foi dividido em duas fases. A primeira, composta por uma revisão da literatura. Já a segunda fase é a realização de uma pesquisa-ação.

- **Capítulo 3:** Referencial Conceitual

Aborda os fundamentos relevantes para a construção deste trabalho. Ele se divide da seguinte forma: primeiramente, é definido o que é deficiência visual e suas implicações relevantes para o desenvolvimento do trabalho; depois, são abordados os conteúdos relativos ao sistema Braille, *displays* Braille e o processo de alfabetização em Braille; e, por fim, serão tratados conceitos os relativos à interação humano-computador, à acessibilidade e à tecnologia assistiva.

- **Capítulo 4:** Trabalhos Relacionados

É nesse capítulo a apresentação de uma revisão dos trabalhos relacionados. Destacam-se, portanto, os fatores relevantes nas metodologias desenvolvidas com a finalidade de mostrar o estado da arte.

- **Capítulo 5:** Um Aplicativo Para Ensino De Reconhecimento De Caracteres Braille Para Uso Com Um Display Braille Específico

Apresenta-se e descreve-se em detalhes a solução desenvolvida. A solução é composta pelo aplicativo Braille Reader Tutor e o display *Braille* DISBRA. Também é neste capítulo que as decisões de projeto são explicadas e justificadas.

- **Capítulo 6:** Resultados e Discussão

É neste capítulo que são apresentados os resultados dos experimentos realizados e a interpretação e análise dos resultados com relação aos achados encontrados no estudo.

- **Capítulo 7:** Conclusão

Fechamento do trabalho, no qual é apresentada a verificação da hipótese de pesquisa, as contribuições e inovação do estudo realizado, as limitações de pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

- **Referências**

As referências bibliográficas que embasaram este trabalho são listadas.

- **Apêndice A**

Neste apêndice, é apresentado o formulário do Google que foi criado para o Questionário do *System Usability Scale*.

## 2 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia científica é o caminho sistematizado e seguro para a realização da formulação e resolução de problemas, identificados por meio de abordagens, técnicas e processos que levam até a aquisição de conhecimento derivado de uma investigação (MARCONI; LAKATOS, 2010). Nesta tese, foi utilizado um conjunto de práticas metodológicas para a realização da pesquisa, formulação da questão de pesquisa, estabelecimento das hipóteses, bem como para a obtenção e organização das respostas, comprovação das hipóteses e desenvolvimento da tese.

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois os conhecimentos adquiridos foram utilizados para realização de aplicações práticas voltadas à resolução de problemas concretos. Inicialmente, entretanto, seu caráter foi exploratório, de modo a caracterizar o problema, limitando o escopo da investigação e, assim, desenvolver os demais passos iniciais da pesquisa.

O método científico que fundamenta esta pesquisa é o indutivo de natureza aplicada, considerando uma abordagem mista, qualitativa e quantitativa, com objetivo descritivo. Durante a execução da pesquisa, foram utilizados dois procedimentos técnicos: uma revisão sistemática e uma pesquisa-ação. A estrutura metodológica do trabalho pode ser vista de forma resumida no Quadro 2.

Quadro 2- Quadro Metodológico

<b>Método científico</b>	Indutivo
<b>Natureza</b>	Aplicada
<b>Abordagem</b>	Quali/quantitativa
<b>Objetivo</b>	Descritiva
<b>Procedimento técnicos</b>	Revisão da Literatura Pesquisa-Ação

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Uma vez que o processo de análise foi misto, foram utilizadas tanto variáveis de natureza qualitativa quanto de natureza quantitativa. As variáveis qualitativas foram utilizadas para o estudo e análise da interpretação dos usuários sobre o objeto estudado, ou seja, entender como os usuários perceberam o objeto estudado, quais foram suas experiências e percepções sobre ele, entender suas ações, seu ambiente, o contexto no qual o objeto está inserido e dar uma descrição sobre a percepção social construída. Por outro lado, as variáveis quantitativas foram utilizadas para analisar as opiniões, reações, atitudes e hábitos que foram medidos dos usuários (MERRIAM, 1998).

Em relação ao objetivo descritivo, foram realizados testes com a finalidade de coletar os dados referentes às variáveis definidas para posterior análise e identificação da relação entre elas. A pesquisa foi dividida em duas fases, cada uma contendo um procedimento técnico.

A primeira fase da pesquisa foi uma revisão sistemática da literatura para avaliar o estado atual

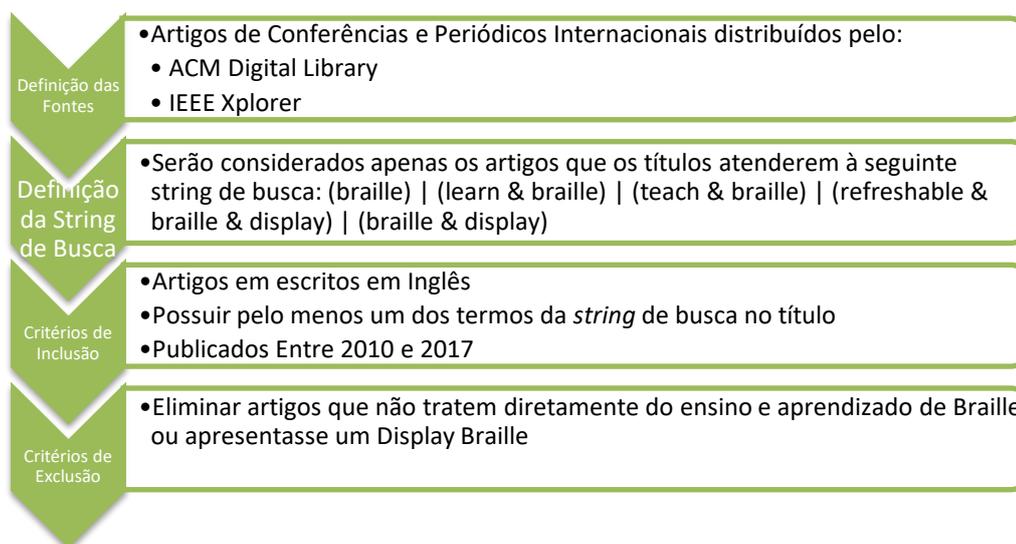
da arte e possíveis linhas de pesquisa que pudessem ajudar a resolver o problema do ensino de Braille descrito no Capítulo 1. Já a segunda fase foi a realização de uma pesquisa-ação com o objetivo de criar, avaliar e melhorar a solução proposta.

## 2.1 PRIMEIRA FASE: REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi realizada a fim de investigar e analisar o estado atual da arte, a relevância do problema de pesquisa e quais as possíveis linhas de pesquisa que podiam ajudar a resolver o problema. Dessa forma, foi definida a seguinte pergunta para nortear a revisão: **Como aumentar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano de professores e tutores de alunos com deficiências visuais, considerando os diferentes níveis de habilidades sensoriais e motoras?**

Tendo como ponto de partida essa pergunta, realizou-se uma revisão da literatura para avaliar o estado atual da arte da linha de pesquisa. O protocolo utilizado para a revisão está resumido na Figura 1 e será descrito em detalhes a seguir.

Figura 1 – Protocolo da Revisão da Literatura



**Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)**

A primeira etapa da revisão foi a escolha das fontes válidas para a pesquisa. Foram então considerados apenas estudos publicados e distribuídos nas bibliotecas ACM Digital Library e IEEE *Xplorer*. Essas bases foram escolhidas por serem as principais bases da área de computação que estão disponíveis para acesso pela rede do Centro de Informática da UFPE.

A segunda etapa foi a definição de uma *string* de busca que conseguisse capturar a essência da pergunta de pesquisa de forma ampla, sendo assim capaz de retornar uma lista de artigos relevantes para responder aos questionamentos feitos nesta seção. A referida *string*, a qual pode ser vista na Figura 1, procurou não restringir demais a pesquisa nas fontes, de modo que fosse possível obter um número

maior de trabalhos e, a partir disso, realizar uma análise crítica com base nos critérios de inclusão e exclusão.

No ponto seguinte, foram definidos os critérios de inclusão. Determinou-se que deveriam ser incluídos na lista para análise todos os artigos que possuíssem pelo menos um dos termos da *string* de busca, estivessem escritos em inglês e tivessem sido publicados entre 2010 e 2017 (quando foi realizada a busca nas bases de dados). Após a aplicação desses filtros, foi obtida uma lista com 61 trabalhos. Finalmente, a partir desses 61 trabalhos, foi iniciada a etapa de exclusão, a qual foi dividida em três partes: leitura dos títulos, leitura dos *abstracts* e leitura do artigo completo. Em cada uma das fases de análise, foram excluídos os artigos que não abordassem nem o processo de ensino de Braille e nem apresentassem um *display* Braille. Artigos que, naquele momento, permitissem, pelo menos, a existência de alguma dúvida se os referidos temas seriam apresentados, passaram para a parte seguinte. Dessa forma, na primeira parte (leitura dos títulos), foram retirados 28 artigos, deixando 33 artigos para serem analisados com a leitura do *abstract*. Destes, 8 foram removidos e 25 passaram para a leitura integral. Após tal leitura, foram excluídos 10 artigos, restando 15 artigos que foram usados como base para a construção da solução na fase de pesquisa-ação, esses artigos podem ser vistos no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultado da Revisão da Literatura

Título/Autor	Ano
Slate Master: A Tangible Braille Slate Tutor for Mobile Devices (LEE <i>et al.</i> , 2017)	2017
Tactile Braille Learning System to Assist Visual Impaired Users to Learn Taiwanese Braille (LEE <i>et al.</i> , 2017)	2017
Teaching Identity Matching of Braille Characters to Beginning Braille Readers (TOUSSAINT <i>et al.</i> , 2017)	2017
Braille Cell Actuator Based Teaching System for Visually Impaired Students (GANDHI; THAKKER; JHA, 2016)	2016
Braille Teaching Electronic Prototype (PAUTA, Jorge Andres Acuay; VELEZ; SERPA-ANDRADE, 2016)	2016
Audio-assisted standalone microcontroller-based Braille System Tutor for Grade 1 Braille symbols (GARCILLANOSA <i>et al.</i> , 2016)	2016
E-Braille-a self-learning Braille device (WAGH <i>et al.</i> , 2016)	2016
An automatic speech recognition system for helping visually impaired children to learn Braille (RAMLREZ <i>et al.</i> , 2016)	2016
Design and Usability of a Braille-based Mobile Audiogame Environment (ARAÚJO <i>et al.</i> , 2016)	2016
Mudra: A Multimodal Interface for Braille Teaching (SRIVASTAVA; DAWLE, 2015)	2015
Teaching Braille Letters, Numerals, Punctuation, and Contractions to Sighted Individuals (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015)	2015
A Braille Writing Training Device with Voice Feedback (AIZAWA; WATANABE, 2014)	2014
Passive Haptic Learning of Braille Typing (SEIM <i>et al.</i> , 2014)	2014
On the Efficacy of a Computer-Based Program to Teach Visual Braille Reading (SCHEITHAUER; TIGER; MILLER, 2013)	2013
A Computer-Based Program to Teach Braille Reading to Sighted Individuals (SCHEITHAUER; TIGER, 2012)	2012

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

Para garantir que a revisão incluiria os trabalhos mais recentes da área, uma nova busca foi realizada utilizando os mesmos critérios e atualizando apenas o filtro referente ao ano de publicação, para incluir os artigos publicados entre os anos de 2018 e 2020.

Mediante pesquisa, foram encontrados mais 36 artigos que antederam ao critério do filtro da *string* de busca. Após a etapa de leitura dos títulos, 10 artigos foram excluídos por não se relacionarem com o ensino de Braille ou com *displays* Braille. Dos 26 artigos que passaram para fase de leitura dos *abstracts*, dois foram excluídos por não se encaixarem nos critérios definidos. Por fim, dos 24 trabalhos que passaram para fase de leitura dos artigos, restaram 15, após a avaliação dos seus conteúdos e verificação da aderência com os temas alvo. Esses 15 artigos (que podem ser vistos no Quadro 4) se juntaram aos 11 artigos da primeira revisão para ajudar a esclarecer o estado atual da arte dessa área.

Quadro 4 - Resultados da Atualização da Revisão da Literatura

Título/Autor	Ano
Design Of An Electronic Prototype to Teach Braille (PEÑALOZA-MENDOZA <i>et al.</i> , 2020)	2020
Braille Display for Portable Device Using Flip-Latch Structured Electromagnetic Actuator (KIM <i>et al.</i> , 2020)	2020
Design and Validation of the Readable Device: A Single-Cell Electromagnetic Refreshable Braille Display (BETTELANI <i>et al.</i> , 2020)	2020
Enhanced Braille Display Use of OCR and Solenoid to Improve Text to Braille Conversion (KUMARI <i>et al.</i> , 2020)	2020
Factors Related to Braille Reading Acquisition among Aging Braille Learners: Exploring the Use of Technology to Enhance Training Outcomes (MARTINIELLO, 2020)	2020
A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition (NAIMUL HASSAN <i>et al.</i> , 2019)	2019
An Arabic Self-Learning Braille Application for Visually Impaired People (AL-WATBAN; AL-SALMAN, 2019)	2019
BrailleCursor: an Innovative Refreshable Braille Display Based on a Single Sliding Actuator and Simple Passive Pins (LOCONSOLE <i>et al.</i> , 2019)	2019
Development of Vibro-Tactile Braille Display and Keyboard (AQEL <i>et al.</i> , 2019)	2019
A Portable Braille Refreshable Display Using Micro Servos (MUNTASIR RAHMAN <i>et al.</i> , 2018)	2018
Braille Grade 1 Learning and Monitoring System (VACA <i>et al.</i> , 2018)	2018
Braille Teaching System for the Visually Impaired (KAVITHA; PRIVADARSHINI; SARADHA, 2018)	2018
Braille Technology Beyond the Financial Barriers: A Braille Literacy Platform to Effectively Combat Braille Literacy Crisis (FORCELINI; GARCIA; SCHULTZ, 2018)	2018
Developing A Self-Learning Braille Kit For Visually Impaired People (MARTILLANO <i>et al.</i> , 2018)	2018
PINDOTS: An Assistive Six-Dot Braille Cell Keying Device on Basic Notation Writing for Visually Impaired Students with IoT Technology (MARTILLANO <i>et al.</i> , 2018)	2018
Text to Braille Scanner with Ultra Low Cost Refreshable Braille Display (HOSSAIN <i>et al.</i> , 2018)	2018

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

A segunda rodada da revisão da literatura ajudou a verificar que a área continua sendo relevante, uma vez que retornou mais artigos que a primeira rodada, mesmo abrangendo um intervalo dos anos de publicação menor.

## 2.2 SEGUNDA FASE: PESQUISA-AÇÃO

Após a fase de identificação das principais necessidades dos deficientes visuais e da revisão sistemática, a metodologia escolhida para criar e avaliar as soluções propostas foi a pesquisa-ação (THIOLLENT, 2008). Esta metodologia contempla dimensões sociais, nas quais o pesquisador está imerso em situações reais, propondo respostas a problemas reais. Ela condensa várias técnicas da pesquisa social, estabelecendo uma estrutura coletiva, participativa e ativa para a captação da informação. Para isso, deve haver uma ação não trivial, necessitando de um estudo científico por parte das pessoas ou grupos envolvidos no problema observado (THIOLLENT, 2008).

A pesquisa-ação busca facilitar a pluridisciplinaridade, o relacionamento dos pesquisadores entre si, a sua colaboração com membros representativos das organizações, consultores e outros profissionais (THIOLLENT, 2008).

Os pesquisadores possuem um papel ativo, buscando solucionar os problemas encontrados, acompanhando e avaliando as ações provocadas devido aos problemas. Busca-se, portanto, a opinião das pessoas e suas ações. Pesquisa-ação não é um simples levantamento de dados, pois, nesta metodologia, busca-se como pesquisador desempenhar um papel ativo na realidade dos fatos observados (THIOLLENT, 2008).

A escolha deste método deu-se em razão deste trabalho necessitar de uma abordagem multidisciplinar e um alto grau de interação entre o pesquisador e os participantes do estudo. Por meio da interação, cria-se uma definição dos problemas a serem resolvidos. Determinados estes problemas, eles são então embasados em teorias e conhecimentos para estabelecer-se a solução. Esta deve ser posta em prática e avaliada por todas as partes envolvidas no trabalho. Após a avaliação dos resultados, o pesquisador e os participantes devem avaliar suas teorias e conhecimentos, podendo gerar um novo ciclo, uma nova definição do problema ou uma nova solução (WAINER, 2007).

Foram realizados três ciclos de pesquisa-ação para este estudo, cada um composto por cinco fases, de acordo com o que foi proposto por Davison e Martinsons e Kock (2004) (vide Figura 2). Cada novo ciclo inicia quando se fecha o anterior. Para delimitar este fechamento, durante a fase de planejamento de cada ciclo foram estabelecidas metas que deveriam ser alcançadas para encerrar aquele ciclo.

Figura 2 - Fases da Pesquisa-Ação



Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

1. **Planejamento** - é observado o problema e informações são reunidas;
2. **Diagnóstico** - são analisados os cenários de interesse de maneira coletiva e colaborativa;
3. **Ação** - soluções que se espera que resolvam o problema são construídas e implementadas;
4. **Avaliação** - são analisados os objetivos e os resultados das ações;
5. **Aprendizado** - são organizadas as descobertas das fases anteriores e realizado o fechamento do ciclo.

O objetivo do primeiro ciclo foi entender o processo de leitura em Braille e criar um artefato semelhante aos *displays Braille*, capaz de exibir os caracteres de forma dinâmica, utilizando as práticas de *design* propostas para concepção da solução por meio do ciclo iterativo de coleta de requisitos, da prototipação e avaliação, além de adaptar os métodos para atender a todos os participantes de maneira eficaz. Ao final deste ciclo, era esperada uma primeira versão do *display Braille* dinâmico *open source*.

O segundo ciclo teve como um dos objetivos testar e avaliar o protótipo do *display* Braille. Esta avaliação foi realizada por uma instrutora de Braille do Instituto de Cegos do Recife (também conhecido como Instituto Antônio Pessoa de Queiroz). A escolha foi feita em função do alto conhecimento no ensino de Braille da instrutora, além de ela possuir disponibilidade em ajudar e participar da pesquisa testando os protótipos desenvolvidos. O outro objetivo do segundo ciclo foi a criação da metodologia de ensino utilizando os artefatos criados. Ao final, o resultado foi um artefato avaliado pelos participantes do projeto, juntamente com um relatório de satisfação com os requisitos estabelecidos no primeiro ciclo.

O terceiro ciclo teve como objetivo implementar as modificações sugeridas ao final do segundo ciclo e avaliar a eficiência do processo de ensino proposto, bem como a satisfação com o processo de

ensino e artefatos criados. O fim deste ciclo foi marcado pela avaliação do método proposto, os resultados completos desta avaliação que serão expostos no Capítulo 6. A metodologia da referida avaliação está detalhada na próxima seção.

### **2.2.1 Avaliação Final da Pesquisa-Ação**

Para encerrar o terceiro ciclo da pesquisa-ação, foi realizada uma avaliação com cinco voluntários para confirmação da hipótese apresentada no Capítulo 1 e colher mais *feedbacks* sobre os artefatos criados.

#### **Amostra e Recrutamento dos Participantes**

No presente trabalho, define-se como população o universo de professores e alunos de ensino superior e pós-graduação sem problemas de visão e capazes de ler normalmente. Com a chegada da pandemia de COVID-19 ao Brasil e o decreto que instituiu o isolamento social (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020), foi definido o uso de amostra por conveniência para a seleção dos participantes da pesquisa, visto que não seria possível o acesso ao corpo docente e discente das instituições de ensino superior escolhidas inicialmente como universo amostral da pesquisa, porque as aulas e atendimentos presenciais foram suspensos durante o período de testes dos artefatos produzidos nesta tese.

De acordo com Oliveira (2001), é adequado o uso de métodos de amostragem não probabilísticos quando é necessário rapidez e facilidade operacional na execução dos testes. Sendo assim, justifica-se o que ocorreu na elaboração deste trabalho, em função do fechamento temporário das universidades e demais instituições de ensino superior. Amostras por conveniência são aceitáveis quando a pesquisa tem caráter exploratório, como uma base para geração de hipóteses e *insights*, e quando é utilizada para estudos conclusivos, nos quais o pesquisador compreende e aceita que os resultados podem não ser completamente precisos (MAROTTI *et al.*, 2008).

#### **CrITÉrios de Inclusão e Exclusão**

Os critérios de inclusão que os participantes precisaram atender para participar da pesquisa foram: serem capazes de ler e escrever em português; serem alunos ou professores de ensino superior e/ou pós-graduação e possuírem disponibilidade para receber o pesquisador na sua casa para a realização dos testes. Para essa avaliação, foram escolhidos os primeiros cinco participantes que aceitaram o convite e tinham disponibilidade para receber o pesquisador em datas mais próximas. O número de cinco participantes foi definido baseado no trabalho de Nielsen (1993), o qual afirma que 80% das descobertas de usabilidade são descobertas após testes com cinco participantes.

Foram excluídas da pesquisa pessoas que já sabiam ler em Braille, ou que já tivessem participado de algum curso de Braille, de modo a não distorcer o resultado final da pesquisa, uma vez que eles já saberiam identificar os caracteres em Braille. Também foram excluídas as pessoas que faziam parte do grupo de risco do COVID-19, e voluntários que não responderam ao convite dentro do tempo hábil ou que responderam, porém possuíam o mesmo perfil de outro participante.

Dessa forma, os testes foram realizados com cinco voluntários, sendo, dois professores universitários (com 42 anos e 35 anos), dois alunos de graduação (20 anos e 22 anos) e uma aluna de pós-graduação (27 anos).

### **Instrumentos de Coleta de Dados**

Devido à natureza do experimento, o pesquisador registrou todas as informações dos testes em uma planilha eletrônica. Foram registrados nessa planilha os acertos, os erros, o tempo de treinamento e avaliação em cada nível e os comentários feitos pelos voluntários durante a realização dos testes. Ao término da sessão de treinamento, foi realizada uma entrevista qualitativa para obter as sugestões e críticas dos participantes, com a finalidade de aprimorar os artefatos testados e melhor atender às necessidades dos usuários finais.

Por fim, foi aplicado o questionário *System Usability Scale* (SUS) (BROOKE, 1995), o qual foi montado utilizando o *Google Forms*<sup>1</sup> e preenchido de forma digital. Para esta pesquisa, foi utilizada a versão traduzida do SUS validado por Martins et al. (2015). O questionário e o roteiro da entrevista qualitativa estão disponíveis nos anexos deste documento. Todas essas informações serviram de base para a análise e conclusões dos pesquisadores sobre o estudo.

### **Procedimentos para a coleta de dados**

Durante a realização de cada um dos testes, o mesmo conjunto de passos foi seguido para evitar que a alteração na ordem ou execução desses passos tivesse reflexo no resultado final. O processo de testes foi iniciado com a apresentação das informações sobre a pesquisa (objetivos, riscos, benefícios, e os procedimentos aos quais o voluntário seria submetido). Na sequência, foi explicitada a ordem de execução das atividades e o funcionamento básico do sistema Braille. As dúvidas que surgiram sobre essa etapa foram esclarecidas e, somente a partir desse entendimento e da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, é que puderam ser iniciadas as atividades de avaliação.

Após a concordância e assinatura do participante, ele foi convidado a responder a um questionário para identificar o seu perfil, esse questionário incluía a seguinte pergunta: “Você é capaz de reconhecer alguma letra do alfabeto em Braille?”. No caso de resposta afirmativa, o pesquisador agradecia a disponibilidade do participante e o informava que não seria possível realizar o teste nesse momento, pois era necessário que o participante não possuísse nenhum conhecimento de Braille para a realização das tarefas.

O treinamento foi composto por seis níveis realizados em um único encontro. A escolha por realizar o treinamento inteiro de uma vez foi realizada teve por objetivo diminuir o número de sessões necessárias para a realização do teste por causa do isolamento social, imposto como medida de combate à pandemia da COVID-19 (SCHUCHMANN *et al.*, 2020).

Os quatro primeiros níveis continham cinco letras que foram divididas aleatoriamente antes da

---

<sup>1</sup> <https://www.google.com/forms/about/>

realização do primeiro teste. O quinto nível era composto por seis letras, enquanto o sexto incluía todas as vinte e seis letras do alfabeto. Em cada nível, o voluntário poderia treinar pelo tempo que achasse necessário para memorizar todas as letras e suas representações em Braille. Após o participante informar ao pesquisador que estava apto para prosseguir para a fase de avaliação, o pesquisador conduziu esse processo para o nível que o usuário havia concluído a fase de treinamento.

Na fase de avaliação, cada participante foi vendado e as letras daquela fase foram apresentadas no *display* Braille ao usuário. Nesse momento, o usuário é informado que deve ler a letra exibida no *display* e dizer ao pesquisador qual é aquela letra. Após o voluntário informar a letra que ele identificou, foi solicitado que o mesmo retirasse a venda, olhasse para o *display* e informasse se ele manteria a resposta ou alteraria. Enquanto isso, o pesquisador tomou notas de todas as letras faladas pelo usuário.

Cada nível, exceto o último, só foi dado como concluído quando o participante acertou pelo menos 80% das letras daquele nível com a leitura visual. Caso contrário, o participante deveria treinar novamente aquele nível e em seguida refazer a avaliação.

Ao final da realização e aprovação nos seis níveis, foi realizada uma entrevista qualitativa com o participante sobre o ambiente testado. Ao final da entrevista, o usuário respondeu ao questionário de usabilidade (SUS). Em seguida, a equipe de pesquisa agradeceu a colaboração do participante, e os dados dos questionários foram lançados em uma ficha eletrônica de controle para posterior análise. A identificação dos questionários foi atribuída de forma sigilosa e o seu acesso é exclusivo e de responsabilidade dos pesquisadores.

### 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados os métodos de pesquisa utilizados nesta tese. Como foi detalhado ao longo das seções anteriores, a pesquisa foi dividida em duas fases: uma revisão da literatura e uma pesquisa-ação. Na seção 2.2.1, foi apresentada a metodologia utilizada para a realização dos testes que terão seus resultados apresentados no Capítulo 6.

Nos capítulos a seguir, será apresentada uma revisão da literatura para construir os fundamentos conceituais desta tese.

### 3 REFERENCIAL CONCEITUAL

Este capítulo aborda algumas das principais características da deficiência visual necessárias para um melhor entendimento deste trabalho. Também serão expostos princípios e conceitos relativos à interação humano-computador e à acessibilidade. Em seguida, serão apresentadas informações importantes sobre o sistema Braille e o funcionamento de *displays* Braille dinâmicos. Por fim, serão tratados conceitos importantes sobre como é realizado o ensino de Braille atualmente.

#### 3.1 DEFICIÊNCIA VISUAL

No presente projeto de pesquisa, será focado o uso de tecnologia assistiva para prover acessibilidade para deficientes visuais. Deficiência essa definida pelo Decreto Lei N° 5.296/04 (BRASIL, 2004), como:

Deficiência visual: cegueira na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores.

A cegueira pode ser adquirida ou congênita (desde o nascimento), conforme enfatizado pela OMS (2014). A forma adquirida pode ser: aguda (perda visual de forma súbita) ou progressiva-crônica (perda visual de forma progressiva, na maioria dos casos, lentamente). Na cegueira congênita, os sujeitos já nascem com o potencial de se tornarem cegos, como, por exemplo, por meio de catarata e glaucoma congênitos. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 253 milhões de pessoas apresenta algum grau de deficiência visual e 36 milhões são cegas. Mais de 80% desse contingente se encontra em países que estão em desenvolvimento (WHO, 2015).

A acuidade visual das pessoas com baixa visão é muito variável. Entretanto, em geral, baixa visão é definida como uma condição na qual a visão da pessoa não pode ser totalmente corrigida por óculos, interferindo com as atividades diárias, assim como a leitura. Baixa visão é mais comum entre os idosos, mas pode ocorrer em pessoas de qualquer idade, como resultado de condições tais como: glaucoma, catarata, degeneração macular e retinopatia diabética (VENTORINI, 2009).

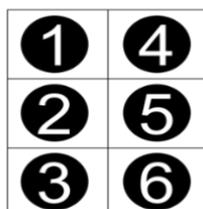
#### 3.2 SISTEMA BRAILLE

O sistema de escrita em relevo, conhecido pelo nome de Braille, é um sistema de leitura para cegos criado por Louis Braille, em 1824, baseado em 63 símbolos em relevo, resultantes da combinação de até seis pontos dispostos em duas colunas de três pontos cada. O espaço por ele ocupado, ou por qualquer outro sinal, denomina-se cela Braille ou célula Braille e, quando vazio, é também considerado por alguns especialistas como um sinal, passando assim a ser composto por 64 sinais (BRASIL, 2006).

Para facilmente serem identificados e se estabelecer exatamente sua posição relativa, os pontos

são numerados de cima para baixo e da esquerda para a direita. Os três pontos que formam a coluna ou fila vertical esquerda têm os números 1, 2 e 3; enquanto os que compõem a coluna ou fila vertical direita, possuem os números 4, 5 e 6. A Figura 3 mostra o arranjo desses pontos em uma célula Braille (BRASIL, 2006).

Figura 3 - Célula Braille



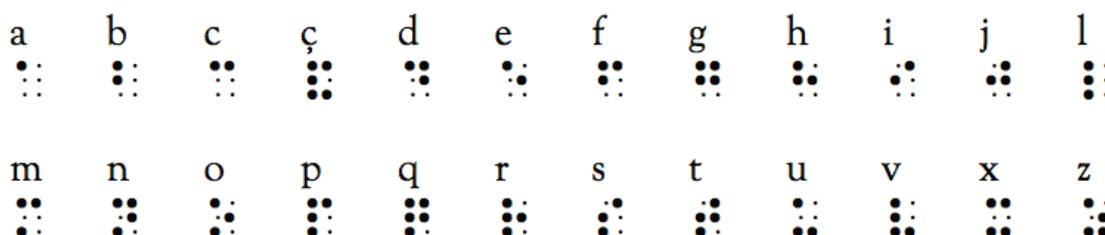
Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

O Sistema Braille é o processo de escrita em relevo mais adotado em todo o mundo e se aplica não só à representação dos símbolos literais, mas também à dos matemáticos, químicos, fonéticos, informáticos, musicais, entre outros. Na sua aplicação à Língua Portuguesa, quase todos os sinais conservam o seu significado original. A Figura 4 mostra como o alfabeto em português é exibido no sistema Braille, em que apenas algumas vogais acentuadas e outros símbolos são representados por sinais que lhe são exclusivos (BRASIL, 2006).

Esse sistema é constituído de três graus. O grau um, ou integral, utiliza apenas os sinais que representam o alfabeto, a pontuação, os números e alguns poucos sinais especiais de composição que são específicos do sistema. Eles correspondem letra por letra à impressão visual que é observável num texto comum. Esse grau é o mais fácil de se aprender, visto que há menos sinais para memorizar (BOAS, 2010; BRASIL, 2006).

Já no Braille grau dois ou estenografado, um caractere pode representar duas ou mais letras ou mesmo uma palavra inteira. Este é o grau mais comum do Braille, embora seja mais difícil aprender quando comparado com o grau um. Isso porque, além de ser necessário memorizar todos os 63 sinais diferentes, a maioria dos quais tem mais de um significado dependendo de como são usados, também é preciso aprender o conjunto de regras necessárias que governam quando cada sinal pode ou não ser usado (BOAS, 2010; BRASIL, 2006).

Figura 4 - Alfabeto em Braille



Fonte: Brasil (2006)

Quanto ao grau três, é uma forma de Braille bastante abreviada, especialmente usada em inglês. No grau três, há várias contrações e abreviaturas, e as regras que governam o seu uso são correspondentemente difíceis. O Braille grau três é usualmente utilizado em anotações científicas ou em outras matérias muito técnicas, mas, como poucos cegos conseguem ler este grau de Braille, não é usado com frequência (BOAS, 2010). Neste trabalho, será utilizado o grau 1 ou integral, pois, segundo Boas (2010), é o mais fácil de aprender, e, dessa forma, facilitará a utilização da solução pelo público-alvo.

### 3.3 DISPLAYS BRAILLE

*Displays* Braille são dispositivos de saída tátil, os quais exibem dinamicamente em Braille a informação de uma tela ligada a uma porta de saída de um computador. Em sua maioria, são dispositivos eletromecânicos que apresentam os caracteres Braille pela movimentação de pinos com pontas arredondadas através de furos em uma superfície plana. As forma mais utilizadas para movimentar os pinos são: a utilização de cristais piezoelétricos e mecanismos eletromagnéticos (REIS, 2013).

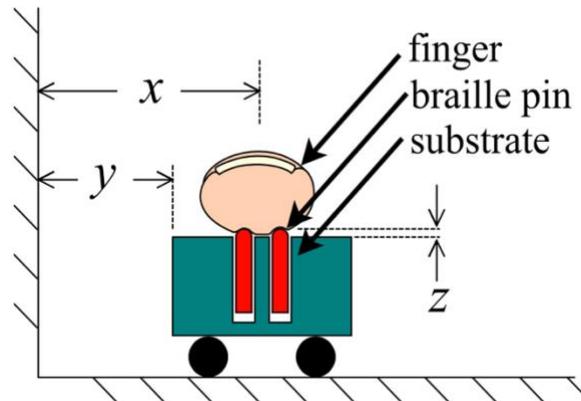
Nos *displays* eletromagnéticos, cada pino é rodeado por um invólucro cilíndrico que contém uma bobina. O pino é ligado a uma mola e também a uma haste de ferro que passa através do invólucro. O conjunto funciona como um solenoide em miniatura. Quando passa uma corrente pela bobina, o campo magnético gerado atrai a haste de ferro e o pino baixa. Quando não há corrente passando pela bobina, a mola mantém o pino levantado (REIS, 2013).

Já nos *displays* piezoelétricos, cada pino é montado sobre uma peça de metal que por sua vez está ligada a um cristal piezoelétrico. Se uma tensão suficientemente grande é aplicada sobre o cristal, este torna-se ligeiramente mais curto. Isto faz com que a peça de metal se curve para cima, levantando o pino. Por outro lado, na ausência de tensão, o cristal volta à sua dimensão normal desfazendo a curvatura da peça de metal e, conseqüentemente, fazendo o pino baixar. As células piezoelétricas são mais utilizadas por serem comercialmente mais disponíveis, mais leves, menores e mais fáceis de controlar, o que simplifica o circuito de controle (REIS, 2013).

A fim de comparar os diferentes tipos de *displays* Braille existentes, e com isso indicar os melhores caminhos para o desenvolvimento de *displays* mais baratos, Russomanno *et al* (2015) executaram um experimento avaliando a eficiência da leitura de deficientes visuais nos diferentes tipos de *displays*. A Figura 5 mostra um esquema simplificado criado pelos autores para ajudar a explicar o funcionamento dos diferentes tipos de *displays*.

Nessa figura, cada um dos pinos vermelhos representa um dos pontos da célula Braille, os quais podem ser projetados verticalmente a uma distância  $z$  de uma superfície. Essa superfície pode ser movida horizontalmente com o deslocamento  $y$  em relação ao solo, enquanto o dedo pode ser movido horizontalmente com o deslocamento  $x$ . Usando como base as velocidades  $x$  e  $y$ , os autores apresentaram quatro tipos diferentes de *displays* (ver Quadro 5): *clock display*, *line display*, *tape display* e *tactile mouse* (RUSSOMANNO *et al.*, 2015).

Figura 5 - Esquema Simplificado de um Display Braille



Fonte: Russomanno et al. (2015)

O *Line Display* é o meio padrão de leitura de Braille que está na célula superior direita do Quadro 5. Os caracteres Braille são apresentados em uma página em relevo ou em uma única exibição “fixa” no *display* Braille. A superfície fica fixa ( $y = 0$ ), enquanto os dedos se movimentam e fazem a leitura da linha/página ( $x > 0$ ). Já o *Tape Display*, que está na célula inferior esquerda do Quadro 5, é uma família de dispositivos que funcionam como uma fita passando por baixo do dedo, o qual fica parado. Dessa forma, é a superfície que se move ( $y > 0$ ) enquanto o dedo fica fixo ( $x = 0$ ) (RUSSOMANNO *et al.*, 2015).

Quadro 5 - Tipos de *Display* Braille de acordo com o Movimento do Dedo e da Superfície

	Dedo Parado	Dedo em Movimento
Superfície Parada	Clock Display $x = 0, y = 0$	Line Display $x > 0, y = 0$
Superfície em Movimento	Tape Display $x = 0, y > 0$	Tactile Mouse $x > 0, y > 0$

Fonte: Russomanno et al. (2015)

O *Tactile Mouse* que aparece na célula inferior direita do Quadro 5 é um *display* no qual existe tanto o movimento do dedo ( $x > 0$ ) quanto da superfície ( $y > 0$ ). Apesar disso, geralmente, nesse tipo de dispositivo, a linha inteira é atualizada ao mesmo tempo e mantida fixa enquanto uma pessoa lê (passando o dedo pela linha). Caso o tempo de atualização da linha seja pequeno, existe a possibilidade de que os caracteres Braille sejam atualizados enquanto estão sendo lidos pelo dedo (RUSSOMANNO *et al.*, 2015).

Por fim, no *Clock display* que aparece na célula superior esquerda, os pinos Braille apresentam os caracteres em sequência embaixo de um dedo fixo ( $x = 0$ ), sem que haja um deslocamento da

superfície ( $y = 0$ ). Sendo assim, apenas os “pinos” que representam cada ponto da célula Braille se movimentam (RUSSOMANNO *et al.*, 2015).

Tendo como base essas definições, os autores realizaram experimentos que comprovaram que restringir o “contato” durante a leitura de Braille leva a um desempenho pior em uma tarefa de reconhecimento de letras. Também foi descoberto que a falta de “contato deslizante” entre a ponta do dedo e a superfície de leitura de Braille resulta em mais erros e que o número de erros aumenta em função da velocidade da apresentação (RUSSOMANNO *et al.*, 2015).

### 3.4 ALFABETIZAÇÃO EM BRAILLE

O processo de alfabetização no sistema Braille tem como objetivo principal o desenvolvimento da leitura com os dedos e possui também a finalidade de produzir textos manualmente. Ao iniciar a aprendizagem do Sistema Braille, o aluno já deverá ter passado por um período preparatório, visando ao desenvolvimento da coordenação motora fina e da percepção tátil para discriminar as formas das letras, pois as distinções são muito leves (FAÇANHA *et al.*, 2012).

A tarefa de alfabetizar alunos cegos usualmente é delegada aos professores de escolas especiais ou de salas de atendimento educacional especializado (AEE). Equivocadamente, os professores entendem que o Sistema Braille é um método de alfabetização e que o tato substitui a visão. Nesta perspectiva, nota-se a forte vinculação entre o ver e o conhecer, o reducionismo do processo de alfabetização e uma visão de ensino centrada nas dificuldades ou na deficiência (DOMINGUES *et al.*, 2010).

Ainda segundo Domingues et al. (2010), não há diferenças substanciais no processo de alfabetização do estudante deficiente visual e o estudante vidente. Desse modo, a existência de classes separadas de alfabetização não faz sentido na realidade brasileira dos dias atuais. Ocorre que, para se efetivar a inclusão educacional da criança cega, é preciso enfrentar desafios que se colocam como entraves à inclusão delas.

Figura 6 - Objetos Utilizados para Alfabetização em Braille



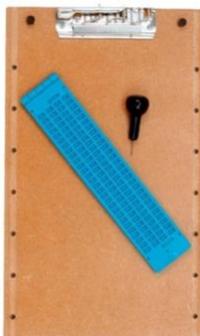
Fonte: Shopping do Braille (2020)<sup>2</sup>

<sup>2</sup>[www.shoppingdobraille.com.br](http://www.shoppingdobraille.com.br)

O professor trabalha com objetos concretos, sejam eles pré-fabricados ou desenvolvidos pela vivência em sala de aula, mostrando a ideia da forma das letras e levando o aluno a experimentar e traçar as letras com os dedos. Alguns objetos bem interessantes são o alfabeto e o alfanumérico Braille feitos de borracha de Etil Vinil Acetato (EVA) e/ou de Medium Density Fiberboard (MDF), os quais podem ser vistos na Figura 6 (FAÇANHA *et al.*, 2012).

Após as atividades que permitam reconhecimento das células Braille, passam-se a usar a reglete e o punção como instrumento de escrita (Figura 7). O reconhecimento da combinação dos pontos apresentará letras, as quais por sua vez combinadas formarão palavras. A reglete é uma régua de plástico ou de metal. Possui um conjunto de celas vazadas dispostas horizontalmente e paralelas, ajustadas a uma base retangular. A punção consiste em uma base de madeira ou plástico com uma ponta em metal. É o metal que entra em contato com o papel e perfura os pontos desejados. A escrita é realizada da direita para a esquerda e os pontos surgem no verso da folha, ou seja, no sentido inverso da escrita convencional, o que exige do estudante concentração e coordenação motora (DOMINGUES *et al.*, 2010).

Figura 7 - Reglete e Punção



**Fonte: Shopping do Braille (2020)<sup>2</sup>**

A máquina de escrever Braille (Figura 8) é um equipamento mecânico ou elétrico com um grupo de três teclas paralelas de cada lado para representar a cela Braille, uma barra de espaço no centro e um dispositivo para ajustar a folha de papel. O toque simultâneo em uma combinação de teclas da máquina Braille reproduz os pontos correspondentes aos sinais das letras ou dos números. Os pontos em relevo aparecem na frente da folha de papel, ao contrário da Reglete, conforme descrito acima.

Figura 8 - Máquina de Escrever Braille



**Fonte: Shopping do Braille (2020)<sup>2</sup>**

Braille permite estudar os quadros em relevo e ler eficientemente os livros técnicos. É, ainda, o único meio de leitura disponível para os surdos-cegos. Por outro lado, a perfeição na escrita está relacionada com a leitura Braille que cada um faz, pois é por meio dela que o deficiente visual entra em contato com a estrutura dos textos, a ortografia das palavras e a pontuação (FAÇANHA *et al.*, 2012).

A compreensão do Código Braille envolve um conjunto de conhecimentos e a apropriação de conceitos espaciais e numéricos, discriminação tátil, destreza de manipulação e coordenação motora, dentre outros. Estes conhecimentos prévios facilitam a identificação da posição dos pontos na cela, o reconhecimento de sinais específicos e a configuração dos pontos que constituem as series ordenadas do alfabeto Braille (DOMINGUES *et al.*, 2010).

A qualidade do ensino de Braille é decisiva para uma leitura deste sistema e para a aquisição de hábitos de leitura. Se os alunos forem motivados à prática normal e constante do seu método de leitura e escrita, a leitura poderá ser rápida e tornar-se também mais agradável e instrutiva (FAÇANHA *et al.*, 2012).

Os quatro métodos mais comuns para a alfabetização no sistema Braille para deficientes visuais são: Alborada, Bliseo, Pergamo e Thyme (PEÑALOZA-MENDOZA *et al.*, 2020). Neste trabalho, não é proposto um método de alfabetização completo para deficientes visuais e sim um método capaz de ensinar a identificação de caracteres em Braille e sua correspondência com o alfabeto romano, sem a necessidade de um tutor humano, focado em ensinar os professores.

### 3.5 USABILIDADE

O termo usabilidade surgiu na área de Interação Humano Computador (IHC), na década de 80, e seu uso foi ampliado com a criação de interfaces gráficas que facilitam aos aprendizes a interação em Tecnologias de Informação e Comunicação (SILVA; GOMES; SOUZA, 2017). A norma ISO 9241 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) define a usabilidade como "a medida em que um produto pode ser usado por usuários especificados para atingir metas especificadas com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico".

Para melhorar a usabilidade de *software* e sistemas de informação, o paradigma do *Design Centrado no Usuário* foi proposto por vários livros na década de 90, começando da publicação de Nielsen (1993) e seguindo com diversas publicação de pesquisadores ao redor do mundo (BEYER; HOLTZBLATT, 1998; COOPER; SAFFO, 1999; HIX; HARTSON, 1993; MAYHEW, 1999), entrando pelas décadas seguintes (JOKELA *et al.*, 2003; ROSSON; CARROLL, 2002; VREDENBERG; ISENSEE; RIGHI, 2001). Este trabalho não tem como foco uma discussão mais aprofundada sobre as definições de Usabilidade e *Design Centrado no usuário*, portanto será utilizada como base a definição apresentada logo no início dessa subseção.

Da mesma forma que existem várias definições para o termo Usabilidade, também existem vários métodos para avaliar a usabilidade de um produto ou serviço. Muitos desses métodos são utilizados para

avaliar tipos específicos de interfaces, enquanto outros podem ser usados para avaliar uma faixa mais ampla de tipos de interface. A escala *System Usability Scale* (SUS) é uma das que podem ser usadas para avaliar a usabilidade de uma variedade de produtos ou serviços (BENTO GERALDES; ROSA MARTINS; RODRIGUES AFONSECA, 2019).

### 3.5.1 System Usability Scale (SUS)

Para avaliar a usabilidade neste trabalho será utilizada a escala *SUS*. Ela foi desenvolvida em 1986, por John Brooke, no laboratório da *Digital Equipment Corporation*, no Reino Unido, e é um questionário composto por 10 itens, com 5 opções de respostas. O respondente do questionário *SUS* assinala sua resposta numa escala Likert, que varia de Discordo totalmente a Concordo totalmente (BROOKE, 1995, 2013; MARIMON BOUCINHA; MARGARIDA ROCKENBACH TAROUCO, 2014; SAURO, 2011).

O resultado da aplicação da escala *SUS* é a soma da contribuição individual de cada item. Para os itens ímpares, deve-se subtrair 1 à resposta do usuário; para os itens pares, o *score* é 5 a menos da resposta do usuário. Depois de obter o *score* de cada item, somam-se os *scores* e multiplica-se o resultado por 2,5. Desta forma, resultado obtido será um índice de satisfação do utilizador (que varia de 0 a 100). Segundo Sauro (2011), a pontuação média da escala *SUS* nos 500 estudos analisados por ele é 68. Assim, o autor considera uma pontuação da *SUS* acima de 68 como acima da média, sendo qualquer coisa abaixo de 68 está abaixo da média.

No trabalho de Bangor, Kortum e Miller (2009), os autores buscam mapear a escala numérica para adjetivos qualitativos, com o objetivo de determinar o que as pontuações individuais da escala *SUS* significam. O resultado desse trabalho pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Estatísticas Descritivas das Pontuações da Escala *SUS* para Classificações Adjetivas

Adjective	Count	Mean SUS Score	Standard Deviation
Worst Imaginable	4	12.5	13.1
Awful	22	20.3	11.3
Poor	72	35.7	12.6
OK	211	50.9	13.8
Good	345	71.4	11.6
Excellent	289	85.5	10.4
Best Imaginable	16	90.9	13.4

**Fonte: Bangor, Kortum e Miller (2009)**

Dessa forma, pode-se considerar que a usabilidade da solução proposta é boa, caso o resultado da aplicação da escala *SUS* atinja pelo menos 71.4 pontos de média. Considerando que esse instrumento foi construído em língua inglesa, para preservar a validação do instrumento para língua portuguesa, na pesquisa de Tenório et al. (2011) foi realizado um elaborado trabalho de tradução, no qual todas as questões foram traduzidas para o português e, depois, um tradutor profissional realizou a tradução para a língua inglesa. A tradução reversa teve como resultado um texto muito próximo do original, mostrando que o significado e a estrutura do texto foram preservados na versão em português. Por este motivo, utilizou-se esta versão na pesquisa. O formulário pode ser visto no Apêndice A.

### 3.6 ACESSIBILIDADE

O termo acessibilidade é utilizado para indicar a possibilidade de qualquer pessoa desfrutar de todos os benefícios de uma vida em sociedade sem barreiras. A acessibilidade digital refere-se ao acesso aos recursos digitais existentes de forma que a pessoa possua a percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia dos mais diversos dispositivos existentes como, por exemplo, *smartphones* e *tablets* (ABNT, 2004). De maneira formal, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) compreende a acessibilidade como segue:

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. (ABNT, 2004).

Essa definição, proposta pela ABNT, é fundamental, pois acessibilidade de verdade só existe quando todos conseguem ter acesso a esses benefícios (GALVÃO FILHO; DAMASCENO, 2006).

O termo tecnologia assistiva é utilizado para nomear os serviços e recursos tecnológicos que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover vida independente e inclusão. No Brasil, o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) define tecnologia assistiva como:

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, 2007).

Dessa forma, são consideradas soluções de tecnologia assistiva, desde objetos simples, como uma colher adaptada, uma bengala ou uma caneta com uma empunhadura mais grossa para facilitar a apreensão, até aplicativos para *smartphones*, utilizados com o fim de aumentar a independência e autonomia da pessoa com deficiência.

#### 3.6.1 Tecnologia Assistiva e Deficiência Visual

Tecnologia assistiva é composta por recursos e serviços que visam facilitar o desenvolvimento de atividades da vida diária por pessoas com limitação, procurando aumentar as capacidades funcionais e promover a autonomia e a independência de quem as utiliza (CHALEGRE, 2011). Existe tecnologia assistiva para auxiliar 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. Cadeiras de rodas, bengalas, órteses e próteses, lupas, aparelhos auditivos e os controles remotos são apenas alguns exemplos de tecnologia assistiva (MELO; COSTA; SOARES, 2006).

A seguir, são apresentados exemplos de tecnologia assistiva que podem ser utilizadas na realização de atividades do cotidiano de deficientes visuais, segundo Melo, Costa e Soares (2006):

- Bengala - Auxiliam a localização de obstáculos e desníveis no piso durante o caminhar da pessoa cega ou com visão reduzida, podendo ser inteiriças ou dobráveis;
- Lupas eletrônicas - Desenvolvidas para auxiliar pessoas com baixa visão que necessitam grande ampliação de textos e imagens, na leitura e na escrita;
- Assinadores - Peças plásticas ou de metal, vazadas em posições que auxiliam no preenchimento ou assinatura de documentos;
- Balanças com marcação em alto relevo - Oferecem pistas táteis para auxiliar pessoas com deficiência visual na medição de pesos;
- Máquina Perkins - Máquina de datilografia utilizada na produção de textos em Braille;
- Reglete - Com o auxílio de um instrumento denominado punção, a Reglete auxilia na escrita em grafia Braille. Com isso, o texto em Braille é produzido no sentido oposto ao da leitura;
- Rotuladora Braille - Máquina mecânica para rotular em Braille;
- Trenas com marcação em alto relevo - Fitas métricas que oferecem pistas táteis para auxiliar pessoas com deficiência visual na medição de áreas;
- Ampliadores de tela - São aplicativos que ampliam parte do conteúdo apresentado na tela do computador e assim podem facilitar seu uso por pessoas com baixa visão, capazes de enxergar os elementos gráficos e textuais apresentados no tamanho exibido por esses aplicativos. Na medida em que ampliam parte do conteúdo apresentado, também reduzem a área efetiva que pode ser visualizada na tela do computador, removendo informações de contexto;
- Leitores de tela com síntese de voz - São aplicativos que viabilizam a leitura de informações textuais via sintetizador de voz e, assim, podem ser utilizados por pessoas com deficiência visual, por pessoas que estejam com a visão direcionada a outra atividade, ou até mesmo por aquelas que tenham dificuldade para ler;
- *Display/Linhas Braille* - Dispositivos de saída compostos por fileira(s) de células Braille eletrônicas, as quais reproduzem informações codificadas em texto para o sistema Braille e assim podem ser utilizadas como alternativa aos leitores de tela por usuários que saibam interpretar informações codificadas nesse sistema;
- Impressoras Braille - Imprimem em papel informações codificadas em texto para o sistema Braille (ex. textos, partituras, equações matemáticas, gráficos, entre outros). Existem impressoras Braille que utilizam um sistema denominado interpostos, viabilizando a impressão nos dois lados do papel;
- *Software* especializados para produção de material em Braille - Inclui programas de

computador para digitalização de imagens e sua conversão para a grafia Braille assim como aqueles voltados à digitalização de partituras musicais e sua impressão em Braille.

As pesquisas mais recentes em tecnologia assistiva para cegos focam na criação de dispositivos eletrônicos portáteis para advertir os obstáculos físicos à sua frente. Tais dispositivos apresentam um número elevado de problemas, dos quais os mais importantes estão relacionados com a apresentação da interface que alerta sobre os obstáculos (CALDER, 2009).

Um dos principais desafios na criação da interface é que os outros canais sensoriais do deficiente visual não devem ser comprometidos por esses dispositivos. E isso é exatamente o que acontece quando, por exemplo, sinais de áudio são usados para advertir a existência de um obstáculo. A emissão dos avisos sonoros pode mascarar os sinais de som do ambiente natural, uma das principais formas de localização utilizada pelos usuários (CALDER, 2009).

### 3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, apresentam-se os principais conceitos necessários para o entendimento desta tese. Foram expostas as definições de deficiência visual, sistema Braille, *displays* Braille, alfabetização, interação, usabilidade e acessibilidade. O capítulo a seguir abordará os trabalhos relacionados relevantes para o tema da pesquisa encontrados na literatura, bem como apresentará uma análise desses trabalhos.

## 4 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo tem como objetivo destacar os trabalhos mais relevantes à tese e analisá-los para encontrar técnicas que possam ser utilizadas e/ou pontos que possam ser melhorados no trabalho proposto. Este trabalho, por ter características e abrangência multidisciplinar, necessita utilizar uma combinação de temáticas como referência e fundamentação.

Para facilitar o entendimento, os trabalhos analisados serão divididos em duas seções: uma para os trabalhos relacionados às soluções ligadas ao ensino de Braille e outra para as soluções de *displays* Braille dinâmicos.

### 4.1 ENSINO DE BRAILLE

Essa seção tem como objetivo analisar trabalhos relacionados que criaram soluções para auxiliar o ensino de Braille sem a necessidade de um tutor presencial. A seguir, serão apresentados cinco trabalhos acadêmicos relacionados, publicados nos últimos anos e escolhidos após a fase de revisão da literatura, a qual foi descrita no Capítulo 2.

Cada um desses trabalho é analisado individualmente nas próximas seções, seguindo os critérios descritos no Quadro 6. Ao final de cada análise, criou-se um quadro similar a esse para resumir as observações e facilitar as comparações com a solução proposta.

Quadro 6 – Critérios para Análise de Artigos sobre o Ensino de Braille

<b>Ensino de Braille com leitura tátil</b>	<b>Sim/Não</b>
<b>Ensino de Braille com leitura visual</b>	<b>Sim/Não</b>
<b>Transportabilidade da solução</b>	<b>Boa/Média/Ruim</b>
<b>Suporte a usuário com baixa ou sem visão</b>	<b>Sim/Não</b>
<b>Suporte a usuário com visão</b>	<b>Sim/Não</b>
<b>Uso de <i>display</i> Braille</b>	<b>Sim/Não</b>
<b>Replicabilidade do Dispositivo</b>	<b>Fácil/Médio/Difícil</b>
<b>Instrutor presencial</b>	<b>Sim/Não</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

#### 4.1.1 A Computer-Based Program to Teach Braille Reading to Sighted Individuals

No artigo de Scheithauer e Tiger (2012), foi apresentado um estudo que aplicou o modelo de mapeamento de letras do alfabeto latino para os símbolos equivalentes em Braille para o ensino de pessoas sem problemas de visão.

A primeira fase do estudo foi a verificação da elegibilidade dos participantes para fazer parte do experimento. Essa fase possuiu um teste de leitura em inglês e um teste de leitura com inspeção visual

em Braille, para verificar se o participante conseguia identificar os caracteres em Braille com a visão. Os participantes que não conseguissem ler o texto em inglês ou conseguissem ler tanto em inglês quanto em Braille eram retirados do experimento. Uma vez que os participantes foram aprovados na primeira fase, foi realizado um pré-teste no qual cada participante teve que associar cada uma das 26 letras do alfabeto latino aos seus equivalentes em Braille no *PracticeMill*. Na Figura 9, vê-se a tela do *software PracticeMill* na fase de pré-teste.

Figura 9 - Tela do *Software PracticeMill* Utilizado pelos Pesquisadores



**Fonte: Scheithauer e Tiger (2012)**

Após o pré-teste, o alfabeto foi dividido randomicamente em grupos de cinco a seis letras. Cada conjunto de letras sendo correspondente a uma unidade de treinamento. Em cada sessão de treino, as letras daquela unidade e os seus correspondentes em Braille foram apresentadas três vezes, enquanto as letras que estavam nas unidades anteriores foram apresentadas uma única vez para evitar que fossem esquecidas. Ao final de cada unidade, os participantes realizaram um teste de mapeamento e só passavam para a próxima unidade caso tivessem uma taxa de acerto de 95%. Ao final de todas as unidades, os participantes realizaram o teste final para verificar o aprendizado lendo visualmente o texto em Braille que foi apresentado na primeira fase do treinamento. Posteriormente, os autores publicaram outros artigos, como em Scheithauer, Tiger e Miller (2013), em que fizeram uma avaliação mais completa da proposta discutida nesta seção, e em Putnam, Tiger e Fichtner (2015), que foi adicionado também o ensino de reconhecimento de numerais, sinais de pontuação e contrações.

O diferencial desse artigo foi utilizar um software para conduzir o treinamento em Braille, o que até então era feito por instrutores humanos. Esse artigo foi um dos primeiros a procurar soluções digitais para o ensino de Braille. Contudo, o software escolhido não foi construído levando em conta as especificidades do ensino de Braille e nem foi capaz de ajudar no reconhecimento tátil de Braille. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 7.

Quadro 7 - Resumo da Análise do Trabalho de Scheithauer e Tiger (2012)

<b>Ensino de Braille com leitura tátil</b>	<b>Não</b>
<b>Ensino de Braille com leitura visual</b>	<b>Sim</b>
<b>Transportabilidade da solução</b>	<b>Ruim</b>
<b>Suporte a usuário com baixa ou sem visão</b>	<b>Não</b>
<b>Suporte a usuário com visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Uso de display Braille</b>	<b>Não</b>
<b>Replicabilidade do dispositivo</b>	-
<b>Instrutor presencial</b>	<b>Não</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

#### 4.1.2 Teaching Identity Matching of Braille Characters to Beginning Braille Readers

No artigo de Toussaint et al. (2017), foi apresentada uma evolução dos estudos explicitados na seção anterior, sendo proposto um processo para ensinar, inicialmente, a discernir as letras compostas de muitos pontos das com poucos pontos, e gradativamente a diferença entre o número de pontos vai sendo reduzida até que a pessoa possa discernir e identificar todas as letras. Os autores apresentaram uma proposta de dividir as letras em grupos de acordo com a diferença do número de pontos utilizados para representá-las em Braille. Dessa forma, criaram cinco níveis para o processo de ensino.

No Nível 1, os grupos envolviam a apresentação de uma amostra e um conjunto de comparação, no qual a diferença entre a comparação alvo e não alvo era de quatro pontos de diferença na sua representação em Braille. Por exemplo, a letra "A", em Braille, é representada com apenas um ponto, e seria comparada com as letras "Q" e "Y", que são formadas por combinações de cinco pontos. No segundo nível, a diferença seria de três pontos, ou seja, quatro pontos em comparação com um ponto e cinco pontos contra dois pontos. No terceiro e quarto níveis, as diferenças seriam, respectivamente, dois pontos e um ponto. Por fim, no quinto nível, foram apresentadas as letras que diferem apenas na disposição dos pontos e não pela quantidade deles.

Tabela 2 - Número e Porcentagem de Erros em cada Nível por Participante

Level	Nina	Blaine	Mariah	M % of trials with errors
1	38/66 (58%)	7/42 (17%)	31/90 (34%)	40%
2	7/56 (13%)	25/120 (21%)	10/88 (11%)	15%
3	6/112 (5%)	77/408 (19%)	276/1004 (28%)	23%
4	N/A	161/960 (17%)	N/A	N/A
Total	51/234 (22%)	270/1530 (18%)	317/1182 (27%)	22%

Fonte: Toussaint et al. (2017)

A solução foi testada com três crianças com deficiência visual e sem experiência prévia em

discriminação de caracteres em Braille. Os resultados desse experimento podem ser vistos na Tabela 2.

Quadro 8 - Resumo da Análise do Trabalho de Toussaint et al. (2017)

<b>Ensino de Braille com leitura tátil</b>	<b>Sim</b>
<b>Ensino de Braille com leitura visual</b>	<b>Não</b>
<b>Transportabilidade da solução</b>	<b>Boa</b>
<b>Suporte a usuário com baixa ou sem visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Suporte a usuário com visão</b>	<b>Não</b>
<b>Uso de <i>display</i> Braille</b>	<b>Não</b>
<b>Replicabilidade do dispositivo</b>	-
<b>Instrutor presencial</b>	<b>Sim</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

O principal diferencial desse artigo foi a proposta da divisão das letras em subgrupos pela quantidade de pontos que são utilizados para representação em Braille. Contudo, ainda foi necessária a presença de um instrutor durante todo o processo de ensino e aprendizagem. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 8.

#### 4.1.3 Braille Cell Actuator Based Teaching System For Visually Impaired Students

No artigo de Gandhi, Thakker e Jha (2016), há a proposta de um sistema de ensino capaz de atender a vários alunos por vez, diferentemente do modelo de ensino padrão de Braille, no qual um instrutor ensina cada aprendiz individualmente.

Figura 10 – Display Braille Utilizado pelos Alunos e Transmissor Utilizado pelo instrutor



Fonte: Gandhi, Thakker e Jha (2016)

Para resolver esse problema, os autores criaram um sistema no qual o instrutor tem um transmissor sem fio, e cada aluno usa *display* Braille receptor que exibe a letra enviada pelo professor (o receptor e

o transmissor podem ser vistos na Figura 10). Dessa forma, ele pode enviar para vários alunos de uma vez a letra que deseja apresentar e fazer os comentários para toda a sala. Portanto, com esse conceito de sistema de ensino em massa, um tutor poderia ensinar vários alunos simultaneamente e com facilidade.

Quadro 9 - Resumo da Análise do Trabalho de Gandhi, Thakker e Jha (2016)

<b>Ensino de Braille com leitura tátil</b>	<b>Sim</b>
<b>Ensino de Braille com leitura visual</b>	<b>Não</b>
<b>Transportabilidade da solução</b>	<b>Média</b>
<b>Suporte a usuário com baixa ou sem visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Suporte a usuário com visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Uso de <i>display</i> Braille</b>	<b>Sim</b>
<b>Replicabilidade do dispositivo</b>	<b>Difícil</b>
<b>Instrutor presencial</b>	<b>Sim</b>

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

A solução proposta pelos autores é um protótipo em estado muito inicial e inviável de uso por deficientes visuais, uma vez que possui muitos componentes eletrônicos expostos o que pode apresentar um risco no manuseio do equipamento. O artigo também não apresentou informações sobre testes com usuários e nem o método de ensino que seria utilizado. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 9.

#### **4.1.4 Braille Teaching Electronic Prototype**

No artigo de Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016), um protótipo de um dispositivo eletrônico com o objetivo de ensinar o reconhecimento de letras em Braille sem a necessidade de um tutor é apresentado. O protótipo, mostrado na Figura 11, interage com o usuário por meio de sons e do tato. O sistema diz ao usuário qual letra está sendo exibida e, em seguida, apresenta no dispositivo para que o usuário possa efetuar a leitura da letra. O método de ensino utilizado pelo artigo é baseado no método Bliseo (HERRERO; BLISEO, 1989).

Nesse método, o aluno aprende primeiro a reconhecer as onze primeiras letras do alfabeto, as quais utilizam combinações dos pontos 1, 2, 4 e 5 da célula Braille. Dessa forma, esse primeiro grupo é formado pelas letras a, b, c, d, e, f, g, h, i e j. Após conseguir identificar as letras do primeiro grupo, a etapa seguinte é aprender reconhecer as letras k, l, m, n, o, p, q, r, s e t. Esse grupo de letras é representado por combinações dos pontos 1, 2, 3, 4 e 5. A terceira etapa contém as letras u, v, x, y e z (formadas pelos pontos 1, 2, 4, 5 e 6) e a quarta, e última, é o reconhecimento das letras ñ e w (formadas respectivamente pelos pontos 1, 2, 4, 5 e 6 e por 2, 4, 5, 6) (HERRERO; BLISEO, 1989; PAUTA, Jorge Andres Acuay; VELEZ; SERPA-ANDRADE, 2016).

Figura 11 - Protótipo Eletrônico para Ensino do Sistema Braille



Fonte: Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016)

Apesar de abordar o tema de forma interessante e inovadora, o protótipo desenvolvido é grande e difícil de ser replicado por pessoas sem conhecimentos avançados de eletrônica. Em comparação com o *display* desenvolvido neste trabalho, o método possui um custo muito maior pela necessidade de mais componentes eletrônicos. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 10.

Quadro 10 - Resumo da Análise do Trabalho de Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016)

Ensino de Braille com leitura tátil	Sim
Ensino de Braille com leitura visual	Sim
Transportabilidade da solução	Média
Suporte a usuário com baixa ou sem visão	Sim
Suporte a usuário com visão	Sim
Uso de <i>display</i> Braille	Sim
Replicabilidade do dispositivo	Ruim
Instrutor presencial	Não

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

#### 4.1.5 Design of an Electronic Prototype to Teach Braille

No artigo de Peñaloza-Mendoza et al. (2020), foi apresentado um dispositivo para ensinar Braille a pessoas com problemas de visão e pessoas sem problemas de visão. O processo de ensino proposto foi composto por três fases. Na primeira, o sistema ensinava símbolos em Braille ao usuário por meio de repetições dos mesmos em sequências definidas. Na segunda fase, os usuários podiam selecionar os caracteres individuais em Braille para praticar. Por fim, na terceira fase, foi realizada a avaliação, na qual o sistema avaliava o aprendizado verificando quantos acertos o aluno conseguiu obter na associação entre os símbolos e seus respectivos correspondentes no alfabeto latino.

Figura 12 – Protótipo



Fonte: Peñaloza-Mendoza et al. (2020)

Na Figura 12, é possível ver o protótipo construído pelos autores da solução e o detalhamento do esquema eletrônico para sua reprodução. Como base para metodologia de ensino, os autores propuseram uma combinação de quatro métodos: Alborada, Bliseo, Pérgamo e Thyme (MARTÍNEZ; POLO, 2004). Assim, apresentam-se as letras na primeira fase em sequência, sendo as primeiras letras correspondentes a uma matriz Braille com um único ponto. Em seguida, eram apresentadas letras com dois pontos. À medida em que os usuários avançavam, combinações mais complexas eram exibidas. A sequência sugerida para o treinamento era: a, o, u, e, l, p, i, b, m, s, n, v, d, ñ, g, t, f, r, c, j, q, h, z, x, k. As letras eram apresentadas em grupos de cinco para reduzir a complexidade do aprendizado.

Quadro 11 - Resumo da Análise do Trabalho de Peñaloza-Mendoza et al. (2020)

<b>Ensino de Braille com leitura tátil</b>	<b>Não</b>
<b>Ensino de Braille com leitura visual</b>	<b>Sim</b>
<b>Transportabilidade da solução</b>	<b>Média</b>
<b>Suporte a usuário com baixa ou sem visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Suporte a usuário com visão</b>	<b>Sim</b>
<b>Uso de <i>display</i> Braille</b>	<b>Não</b>
<b>Replicabilidade do dispositivo</b>	<b>Fácil</b>
<b>Instrutor presencial</b>	<b>Não</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

A solução proposta pelos autores nesse artigo é interessante, apresentando um protótipo com todas as informações necessárias para replicação. Contudo, o tamanho do dispositivo era grande. O formato de leitura tátil apresentado não foi o padrão Braille. Dessa forma, não preparou de forma ideal os aprendizes para identificar as letras em textos impressos em Braille usando o tato. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 11.

## 4.2 DISPLAYS BRAILLE

Esta seção tem como objetivo analisar alguns trabalhos relacionados relevantes que criaram soluções de *displays* Braille dinâmicos. A seguir, será apresentada a lista com os cinco trabalhos acadêmicos publicados nos últimos anos, escolhidos após a fase de revisão da literatura descrita no Capítulo 2:

- Single Braille Cell (BERNART SCHMIDT *et al.*, 2014);
- Painel Braille Interativo (REIS, 2013);
- A Proposal for a User Interface with a Several-Cell Refreshable Braille Display: A Case of a Wristwatch-Shaped Wireless Refreshable Braille Display (MINATANI, 2016);
- Refreshable Braille Display for the Visually Impaired (SUTARIYA *et al.*, 2018);
- A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition (NAIMUL HASSAN *et al.*, 2020).

Além dos trabalhos acadêmicos acima citados, também foram analisados dois produtos comerciais que estão disponíveis no mercado:

- *BrailleNote GPS*
- *Dot Smartwatch*

Cada um desses trabalhos e produtos foi analisado individualmente nas próximas seções, seguindo os fatores descritos no

Quadro 12. Ao final das análises, foram criados quadros similares a esse para resumir as observações e facilitar as comparações com a proposta desenvolvida nesta tese.

Quadro 12 - Critérios para Análise de Artigos sobre Displays Braille

Tipo do Dispositivo	Descrição ( <i>display</i> /relógio...)
<b>Transportabilidade da solução</b>	Alta/Média/Baixa
<b>Usabilidade</b>	Boa/Média/Ruim
<b>Custo</b>	Alto/Médio/Baixo
<b>Replicabilidade</b>	Fácil/Médio/Difícil

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

### 4.2.1 Single Braille Cell

O trabalho de Schmidt *et al.* (2014) teve como objetivo o desenvolvimento de uma solução integrada de *hardware* e *software* para facilitar o acesso de deficientes visuais a conteúdos digitais. Dessa forma, os autores criaram um *display* Braille de uma única célula, conforme mostrado na Figura 13.

O *display* foi construído utilizando seis servo motores controlados por um Arduino Uno<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> <https://www.arduino.cc/>

Segundo Schmidt *et al.* (2014), a célula deve ter dimensões ligeiramente maiores que as da célula impressa em Braille e também superior às células piezoelétricas utilizadas pelos *displays* existentes, nos quais a leitura é feita com o deslocamento do dedo do deficiente visual. Para efetuar a leitura das palavras, o deficiente visual deixa o seu dedo parado na célula, enquanto os pontos são acionados dependendo da letra/dígito/caractere que é exibido. Para mostrar palavras e frases, os caracteres são exibidos de forma sequencial.

Figura 13 - Display Braille Desenvolvido por Schmidt et al. (2014)



Fonte: Schmidt et al. (2014)

De acordo com os autores, foram detectadas algumas divergências entre essa solução com apenas uma célula e os *displays* Braille tradicionais. Por exemplo, as distâncias dos pontos devem ser ajustadas para cada usuário para encontrar a distância ideal entre eles. Além disso, a impossibilidade de ler usando as duas mãos é uma limitação. Por último, a leitura de textos amplos não é uma tarefa intuitiva, porque os caracteres são representados um de cada vez, tornando difícil para o usuário manter o contexto da frase lida.

Quadro 13 - Resumo da Análise do Trabalho de Schmidt et al. (2014)

<b>Tipo do Dispositivo</b>	<i>Display</i> Braille de uma única célula
<b>Transportabilidade da solução</b>	Baixa
<b>Usabilidade</b>	Ruim
<b>Custo</b>	Baixo
<b>Replicabilidade</b>	Fácil

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

O protótipo ainda se encontra em fase inicial, apresentando problemas de usabilidade levantados

pelos usuários na fase de avaliação. O diferencial dessa solução é a facilidade de replicação e o baixo custo do *hardware*, uma vez que foi construído utilizando Arduino. O protótipo apresentou alguns problemas/falhas. O primeiro problema identificado foi o funcionamento apenas ligado a computadores, não sendo possível utilizar em conjunto com um *smartphone* ou *tablet*, prejudicando a sua Transportabilidade. O resumo da análise desse trabalho pode ser visto no Quadro 13.

#### 4.2.2 Painel Braille Interativo

Nesse trabalho, Reis (2013) propõe uma nova forma de produção de um painel Braille que permita a fabricação de um dispositivo de baixo custo. Ao invés de usar pinos móveis para reproduzir o relevo dos pontos de uma célula Braille, o que implicaria na utilização de dispositivo de mecânica fina para cada ponto, o dispositivo é baseado na ideia de substituir esses pinos por um disco de plástico com oito lados, sendo que em cada um dos lados há o relevo de cada uma das oito configurações possíveis de três pontos.

Dessa forma, um caractere Braille é constituído por dois discos colocados lado a lado e rotacionados de forma que uma das faces (a que contém o padrão do caractere a ser exibido) fique voltada para a superfície do painel no qual esses discos estão alojados.

O protótipo consiste em quatro caracteres Braille formados por oito discos de plástico montados sobre um eixo. Sobre esse eixo, existe uma haste que está montada sobre uma porca, que, por sua vez, está em um fuso. Um motor de passo rotaciona o fuso e a rotação deste provoca a movimentação da haste. Esta é movimentada até se posicionar sob o disco que se deseja rotacionar. Uma vez posicionada a haste, um segundo motor de passo gira a haste e, conseqüentemente, o disco, até que o padrão correto correspondente ao caractere desejado seja posicionado na superfície do painel.

Quadro 14 - Resumo da Análise do Trabalho de Reis (2013)

<b>Tipo do Dispositivo</b>	<i>Display Braille</i>
<b>Transportabilidade da solução</b>	Baixa
<b>Usabilidade</b>	Ruim
<b>Custo</b>	Baixo
<b>Replicabilidade</b>	Fácil

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

O diferencial dessa solução é a simplicidade e o custo do protótipo. A adoção de discos plásticos que podem ser impressos em uma impressora 3D reduz bastante a complexidade do sistema. Os problemas em relação a esse trabalho são a falta de Transportabilidade, uma vez que o *display* só funciona ligado a computadores, e a falta de testes com usuários para verificar a legibilidade dos caracteres Braille. A ideia da utilização dos discos foi absorvida pelo *display* que foi criado nesta tese e

será explicado nos capítulos seguintes. O Quadro 14 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho.

#### **4.2.3 A Proposal for a User Interface With a Several-Cell Refreshable Braille Display: A Case of a Wristwatch-Shaped Wireless Refreshable Braille Display**

Nesse trabalho, Minatani (2016) desenvolve um relógio de pulso com um *display* Braille de oito dígitos (Figura 14), com o objetivo de facilitar o uso desse tipo de *display* em situações que o cego esteja em pé e/ou em situações de deslocamento. O autor defende que a saída de voz não é uma interface adequada para deficientes visuais quando esses estão em locais barulhentos, pois pessoas cegas reconhecem certas circunstâncias nesses ambientes com o auxílio da audição. Dessa forma, a dispersão da atenção entre som ambiente e saída de voz de um dispositivo pode resultar na redução da sua capacidade de reconhecimento (MINATANI, 2016).

Figura 14 - Protótipo do Relógio de Pulso com Display Braille



**Fonte: Minatani (2016)**

O *display* foi construído utilizando oito células Braille fornecidas pela KGS Corporation<sup>4</sup>, cada célula possuindo uma largura de 6,4 milímetros e uma profundidade de 67,45 milímetros. A decisão de usar oito dígitos Braille em detrimento dos doze que são usados habitualmente foi tomada para reduzir o tamanho do dispositivo, tornando-o adequado para um relógio de pulso. A comunicação do protótipo com o *smartphone* é totalmente sem fio, utilizando *bluetooth*<sup>5</sup>. Todo o circuito da solução foi projetado em uma placa mãe desenvolvida especificamente para esse fim.

O uso de uma placa projetada especificamente para esse fim e a ausência de documentação da placa torna a replicação desse dispositivo difícil. Outro problema encontrado nesse trabalho é a ausência dos testes com usuários, o que inviabiliza o acesso à opinião sobre andar com um dispositivo como esse no punho. Apesar de ser portátil, a solução é muito pesada para ser utilizada como um relógio de pulso, podendo tornar-se incômodo após um período prolongado de uso. O custo da solução é desconhecido,

---

<sup>4</sup> <http://www.kgs-jpn.co.jp/>

<sup>5</sup> <https://www.bluetooth.com/>

uma vez que a placa mãe foi projetada especificamente para esse fim e não foi divulgado nem o valor nem as especificações finais do circuito. O Quadro 15 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho.

Quadro 15 - Resumo da Análise do Trabalho de Minatani (2016)

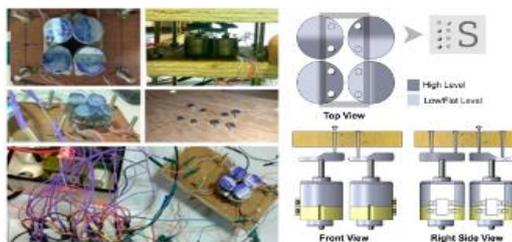
<b>Tipo do Dispositivo</b>	Relógio de pulso com um <i>Display Braille</i>
<b>Transportabilidade da solução</b>	Alta
<b>Usabilidade</b>	Ruim
<b>Custo</b>	-
<b>Replicabilidade</b>	Difícil

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

#### 4.2.4 Refreshable Braille Display For The Visually Impaired

Nesse trabalho, Sutariya *et al.* (2018) apresentam uma ferramenta que converte uma sequência de caracteres em uma saída física em Braille, passível de ser lida por deficientes visuais. Os autores ainda apresentam superficialmente quatro formas de implementar a solução com suas vantagens e limitações.

Figura 15 - Protótipo



Fonte: Sutariya *et al.* (2018)

Quanto ao *design* escolhido, os autores optaram pela abordagem *Rotary Actuator*. Essa abordagem utiliza quatro motores de passo com discos presos ao topo, em que a metade do disco está em um nível mais alto e a outra metade está em um nível mais baixo. Cada disco é usado para criar uma combinação de dois pontos. Dessa forma, utilizando esses quatro motores é possível montar todas as combinações necessárias pra representar o alfabeto em Braille. O esquema dessa solução e uma imagem do protótipo são mostradas na Figura 15.

Quadro 16 - Resumo da Análise do Trabalho de Sutariya et al. (2018)

<b>Tipo do Dispositivo</b>	Display Braille
<b>Transportabilidade da solução</b>	Baixa
<b>Usabilidade</b>	Ruim
<b>Custo</b>	Baixo
<b>Replicabilidade</b>	Fácil

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

A solução proposta é apresentada em um estado inicial, com muitos fios expostos e respeita o distanciamento padrão dos pontos de uma célula Braille, prejudicando assim a usabilidade e a Transportabilidade. Em compensação, o custo para criar o dispositivo é baixo, uma vez que usa apenas componentes comuns e baratos de Arduino. A alta disponibilidade desses componentes e apresentação de um esquema eletrônico básico torna fácil a replicação do experimento. O Quadro 16 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho.

#### **4.2.5 A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition**

No artigo de Hassan et al. (2020), é apresentado um dispositivo capaz de detectar objetos e de realizar reconhecimento óptico de caracteres (*Optical Character Recognition*), além de exibir essa informação em Braille em um *display* criado pelos autores. A parte desse trabalho que interessa para a análise nesse capítulo é justamente o *display* Braille (Figura 16).

O *display* Braille proposto pelos autores não é explicado de maneira detalhada no artigo, de forma que não é possível identificar todos os componentes utilizados na criação dele. Além disso, os pontos da célula Braille estão fora do padrão comprometendo a usabilidade.

Figura 16 - Protótipo do *Display* Braille



**Fonte: Hassan et al. (2020)**

A solução é razoavelmente portátil, uma vez que todos os componentes eletrônicos e fios estão

guardados dentro de uma caixa. Contudo, por falta de informações, não é possível classificar esse critério adequadamente. O Quadro 17 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho

Quadro 17 - Resumo da Análise do Trabalho de Hassan et al. (2020)

<b>Tipo do Dispositivo</b>	<i>Display Braille</i>
<b>Transportabilidade da solução</b>	-
<b>Usabilidade</b>	Ruim
<b>Custo</b>	-
<b>Replicabilidade</b>	Difícil

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

#### 4.2.6 BrailleNote Gps

O *BrailleNote GPS* (Figura 17) é um computador fabricado pela HumanWare<sup>6</sup> para pessoas com deficiências visuais. Essa versão do *BrailleNote* fornece informações de localização e ferramentas para facilitar o deslocamento de cegos. O dispositivo possui um teclado Braille ou um teclado Qwerty, um sintetizador de voz, um *display* Braille dinâmico de dezoito ou trinta e duas células e um módulo GPS externo.

Figura 17 - *BrailleNote* GPS



**Fonte: Humanware (2020) <sup>7</sup>**

O *BrailleNote* pode ser utilizado tanto para a exibição quanto para entrada de dados. Por ser um produto comercial, existem poucas informações disponíveis sobre como ele foi projetado e/ou seus componentes internos. Outro ponto crítico é o custo do produto (600 dólares), tornando-o inacessível

<sup>6</sup> <http://www.humanware.com/>

<sup>7</sup> <http://www.humanware.com/en-usa/home>

para boa parte dos deficientes visuais. Apesar de ser vendido como um computador portátil, o tamanho do aparelho torna difícil sua utilização com apenas uma mão, dificultando o uso enquanto o deficiente visual estiver andando, pois normalmente nessas situações uma das mãos do cego está segurando a bengala ou o cão guia. O Quadro 18 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho.

Quadro 18 - Resumo da análise do *BrailleNote GPS*

<b>Tipo do Dispositivo</b>	Computador com <i>Display</i> Braille
<b>Transportabilidade da solução</b>	Média
<b>Usabilidade</b>	Boa
<b>Custo</b>	Alto
<b>Difícil</b>	Difícil

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

#### 4.2.7 Dot Smartwatch

O *Dot Smartwatch* (Figura 18) é um relógio de pulso inteligente para deficientes visuais desenvolvido por uma *startup*<sup>8</sup> da Coreia do Sul. No lugar dos ponteiros ou telas sensíveis ao toque, foram colocadas seis células Braille, as quais são utilizadas para exibir as notificações do *smartphone*. Essa comunicação é feita via *bluetooth* após o usuário fazer o pareamento dos dispositivos.

Figura 18 - *Dot Smartwatch*



Fonte: Dotincorp (2020)<sup>12</sup>

O preço inicial do relógio, o qual é compatível com os sistemas iOS<sup>9</sup> e Android, é 290 dólares. Apesar de custar metade do valor do *BrailleNote GPS*, esse custo ainda é alto para os padrões brasileiros. O *Dot* se mostra uma solução interessante por ser portátil e funcionar independente de computadores, sendo necessário apenas o pareamento com um *smartphone*.

<sup>8</sup> [www.dotincorp.com](http://www.dotincorp.com)

<sup>9</sup> <https://www.apple.com/br/ios/ios-14>

Quadro 19 - Resumo da Análise do *Dot Smartwatch*

<b>Tipo do Dispositivo</b>	Relógio de pulso com <i>Display</i> Braille
<b>Transportabilidade da solução</b>	Alta
<b>Usabilidade</b>	Boa
<b>Custo</b>	Alto
<b>Replicabilidade</b>	Difícil

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

Uma vez que se trata de um produto comercial, não há detalhes suficientes sobre o projeto e componentes internos utilizados para a sua criação. Esse fator, aliado ao preço e à dificuldade de encomendar uma unidade, faz com que esse produto não seja de fácil acesso para pessoas com deficiência visual. O Quadro 19 apresenta um resumo dos principais pontos avaliados nesse trabalho.

#### 4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados os principais trabalhos relacionados com a pesquisa desta tese. Este capítulo serviu como base para a construção da solução proposta. No próximo capítulo, será apresentada a solução para o problema de pesquisa descrito no Capítulo 1.

## 5 UM MÉTODO PARA ENSINO DE BRAILLE UTILIZANDO DISPLAY TÁTIL

Este capítulo tem como objetivo apresentar o método proposto e a solução desenvolvida para resolver o problema apresentado no Capítulo 1. Ao longo das próximas seções, serão explicadas as decisões de projeto tomadas durante o desenvolvimento desta tese e serão apresentados os artefatos desenvolvidos neste trabalho: O método *Braille Reader Tutor* (BRT), o BRT APP e o *display* Braille (DISBRA).

### 5.1 O BRAILLE READER TUTOR

O *Braille Reader Tutor* (BRT) foi criado com o objetivo de ensinar aos usuários a reconhecer e mapear os caracteres Braille para o alfabeto romano, de forma autônoma, usando um *smartphone* e um *display* Braille. O método divide o processo de aprendizagem em dois módulos, ensino e avaliação. O primeiro com o objetivo de apresentar e ensinar ao usuário a representação em Braille de cada letra do alfabeto, enquanto o segundo visa avaliar se o usuário é capaz de reconhecer os caracteres em Braille já estudados.

Seguindo o que foi proposto por Toussaint *et al.* (2017), as letras do alfabeto romano foram divididas em seis níveis, para particionar o aprendizado e facilitar a memorização do mapeamento para o alfabeto Braille. Os quatro primeiros níveis são compostos por cinco letras, o quinto contém seis letras, enquanto o sexto e último é composto por todas as vinte e seis letras do alfabeto. A divisão de quais letras estariam em cada nível foi feita randomicamente, como proposto por Scheithauer e Tiger (2012). A composição de cada um dos níveis pode ser vista no Quadro 20.

Quadro 20 - Composição dos Níveis dos Módulos de Ensino e Avaliação

Nível 1	A, B, D, G, Q
Nível 2	C, F, N, Y, W
Nível 3	E, H, P, O, V
Nível 4	I, J, R, M, U
Nível 5	K, L, T, S, X, Z
Nível 6	Todas as 26 letras do alfabeto

**Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)**

Logo, o usuário deve iniciar pelo Nível 1 do módulo de ensino e, em seguida, concluir o seu equivalente no módulo de avaliação. O acesso aos níveis seguintes (nos dois módulos) só é liberado após a avaliação do grau de dificuldade anterior ser concluída com sucesso. Isto é, o usuário deve conseguir identificar com sucesso pelo menos 80% das letras daquele bloco no módulo de avaliação.

É importante levar em consideração que o processo de ensino de Braille para pessoas alfabetizadas e que não possuem problemas graves de visão é diferente do ensino para pessoas que ainda não foram alfabetizadas (SCHEITHAUER; TIGER, 2012). As pessoas alfabetizadas conhecem o alfabeto romano e são capazes de identificar as letras visualmente. Dessa forma, é possível estabelecer

um processo de ensino baseado na equivalência entre a representação das letras no alfabeto romano para a representação delas em Braille (SCHEITHAUER; TIGER, 2012).

Durante o desenvolvimento da pesquisa, três pontos nortearam as decisões de projeto: acessibilidade, disponibilidade e baixo custo. Dessa forma o BRT, a solução desenvolvida neste trabalho consiste em um método de ensino do reconhecimento e mapeamento dos caracteres Braille para o alfabeto romano implementado com um aplicativo *Android*<sup>10</sup> e um *display Braille Open Source* de baixo custo.

A definição por uma aplicação para dispositivos móveis foi feita em função do alto grau de adoção desses dispositivos (FAÇANHA *et al.*, 2012). No Brasil, por exemplo, 82% da população com mais de 10 anos possui um smartphone (IBGE, 2018). Enquanto, de acordo com o IBGE (2018), apenas 41,7% das residências do país possuem computadores. O relatório também mostra que o acesso à internet é feito por computadores em 48,1% das residências, enquanto os *smartphones* são usados para esse fim em 99,2% desses domicílios (IBGE, 2018). Todas essas informações ressaltam a importância dos *smartphones* para o acesso a informações no Brasil.

A escolha pela plataforma *Android* foi tomada por causa de sua alta popularidade, da facilidade de acesso à documentação de qualidade e por não necessitar de uma licença específica para o desenvolvimento, além de poder ser utilizada em aparelhos com preços mais acessíveis.

O *display* do BRT foi projetado para que possa ser construído por qualquer pessoa, sem a necessidade de conhecimento especializado de microcontroladores ou eletrônica avançada, por isso a escolha pelo uso de *Arduíno*<sup>11</sup>. A plataforma *Arduíno* é conhecida por permitir que pessoas que não são da área técnica possam aprender o básico e criar seus projetos na plataforma em um período de tempo curto (MCROBERTS, 2015).

## 5.2 O BRT APP

O BRT App, nome dado ao aplicativo que implementa o método BRT, foi projetado para atender aos critérios de *design* universal, contendo gestos específicos independentes da visão, como deslizar para os lados, instruções de voz, vibrações e reconhecimento de fala. Por isso, a solução foi dividida em dois componentes: componente de Entrada/Saída e o componente de Ensino e Avaliação, como pode ser visto na Figura 19.

Essa divisão teve como objetivo separar os diferentes tipos de problemas que a solução precisa lidar (como os usuários e o sistema interagem, e como o sistema faz todo processo de ensino e avaliação), além de facilitar o desenvolvimento e a adição de novas formas de interação posteriormente, sem que fosse necessário modificar várias partes da solução.

---

<sup>10</sup> [www.android.com](http://www.android.com)

<sup>11</sup> [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

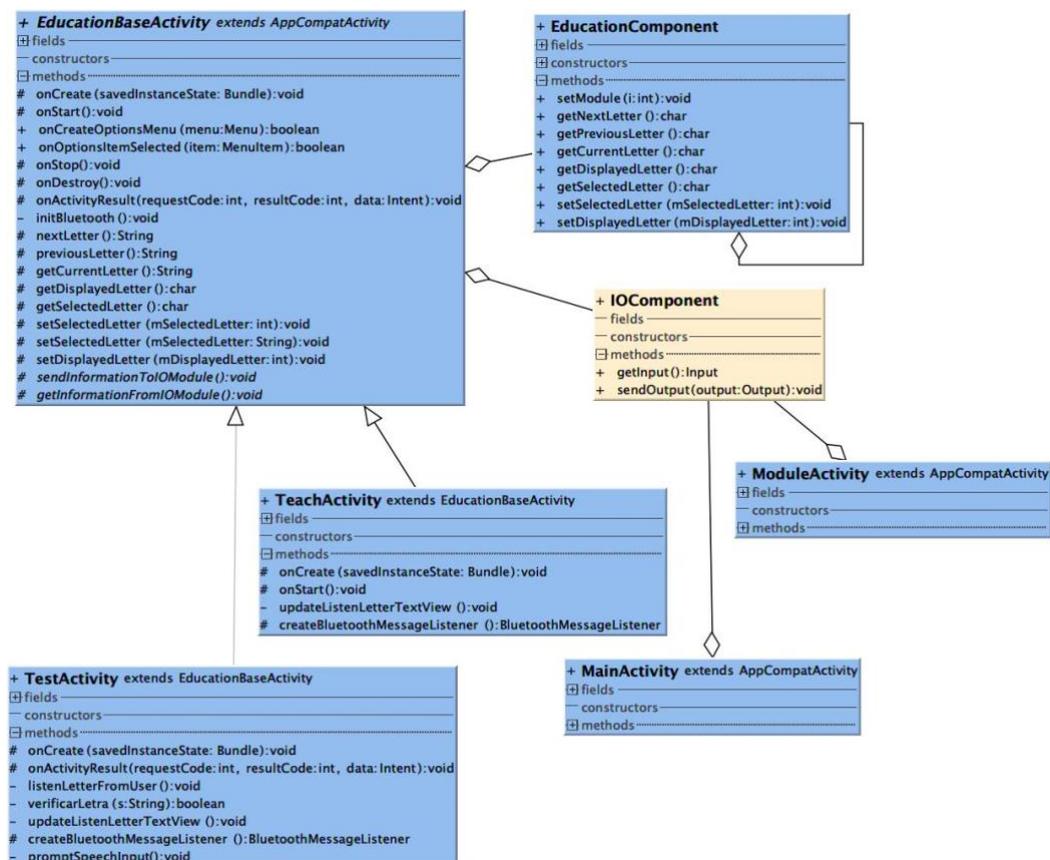
Figura 19 – Macro Arquitetura do BRT



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

A Figura 20 apresenta um diagrama de classes simplificado que mostra como o BRT APP foi implementado. Nesse diagrama, é possível ver que toda parte de entrada/saída ficou como responsabilidade do *IOComponent* (única classe do diagrama representada com uma cor diferente<sup>12</sup>), todas as outras classes fazem parte do Componente de Ensino e Avaliação. O funcionamento e responsabilidades desses componentes e módulos são detalhados nas próximas seções.

Figura 20 - Diagrama de Classes da Aplicação



<sup>12</sup> No diagrama de classes da Figura 20, as cores de cada classe representam o componente ao qual elas pertencem, mantendo mesmo padrão de cor da Figura 19.

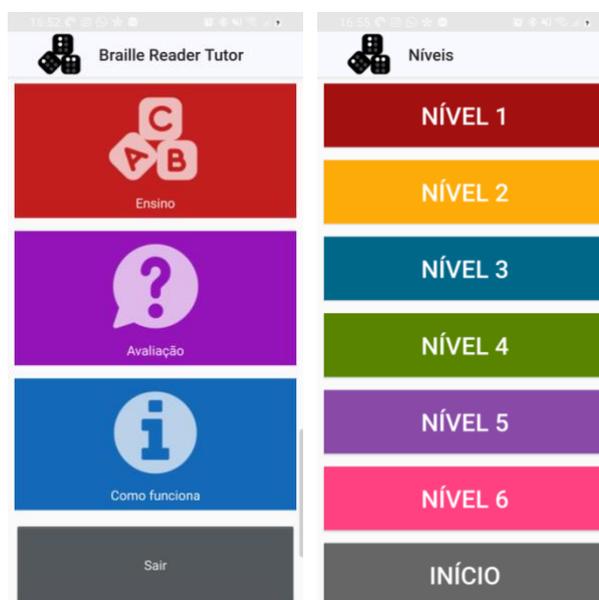
Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

### 5.2.1 Componente de Ensino e Avaliação

Esse componente foi dividido em dois módulos, o primeiro com o objetivo de apresentar e ensinar ao usuário a representação em Braille de cada letra do alfabeto, enquanto o segundo visa avaliar se o usuário é capaz de reconhecer os caracteres em Braille já estudados. A tela inicial da aplicação pode ser vista na

Figura 21 A. Nessa tela, o usuário deve escolher se deseja acessar o módulo de ensino ou de avaliação. Após essa definição por parte do usuário, é exibida a tela de escolha do nível (na Figura 21 B).

Figura 21 - Telas Inicial (A) e de Módulos da Aplicação (B)



Fonte: Rocha et al. (2019)

#### Módulo de Ensino

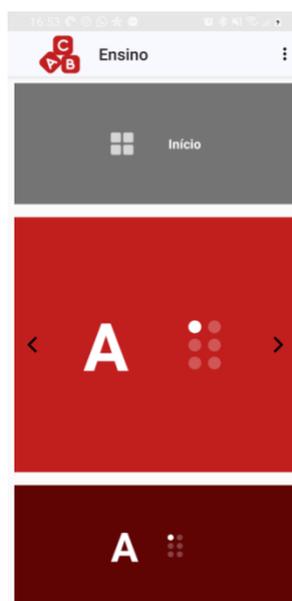
O módulo de ensino é responsável por implementar e apresentar a representação em Braille para cada letra do nível. As letras são exibidas tanto na tela da aplicação quanto no *display* Braille. Isso se faz necessário para atender aos diferentes perfis de pessoas que são parte do público-alvo da solução.

A exibição na tela da aplicação tem como objetivo permitir que pessoas que não têm problemas severos de visão possam aprender a ler em Braille com inspeção visual dos caracteres, dessa forma, permitindo que elas pratiquem mesmo em situações em que não estejam com a posse momentânea do *display*. Enquanto a exibição no *display* Braille visa permitir a prática e aprendizado da leitura tátil, tanto a pessoas sem problemas de visão quanto as pessoas com problemas severos de visão, e até a pessoas com perda total da visão.

A visualização da tela desse módulo pode ser vista na Figura 22 e contém 3 botões coloridos

grandes para facilitar o uso por pessoas com baixa visão. O primeiro botão retorna à tela inicial do aplicativo, enquanto o terceiro botão mostra a letra que está atualmente sendo exibida no *display*. Quando o terceiro botão é pressionado, a aplicação “fala” para o usuário a letra que está sendo exibida no *display* em Braille. Essa última função também foi implementada visando aprimorar a experiência para pessoas com problemas severos de visão ou cegas.

Figura 22 - Tela de Ensino



Fonte: Rocha et al. (2019)

Por fim, o segundo botão possui três funções diferentes: navegar pela lista de letras desse módulo (usando deslizar para a esquerda/direita); enviar a letra selecionada para o *display* (a letra selecionada é exibida no centro desse botão e é enviada com um toque duplo); e ouvir a letra selecionada atualmente (toque simples). Como já foi explicado na seção anterior, cada nível só estará disponível após o usuário concluir o módulo de avaliação do nível anterior.

### Módulo de Avaliação

O módulo de avaliação tem como objetivo testar o conhecimento do usuário quanto ao reconhecimento dos caracteres ensinados em cada nível. A tela inicial desse módulo, mostrada na Figura 23, é esteticamente semelhante à tela de ensino, mantendo a mesma estrutura de três botões grandes. O objetivo de manter uma mesma estrutura é facilitar a usabilidade do aplicativo, criando telas e comandos semelhantes, para que os usuários possam memorizar melhor as maneiras de interagir com o aplicativo.

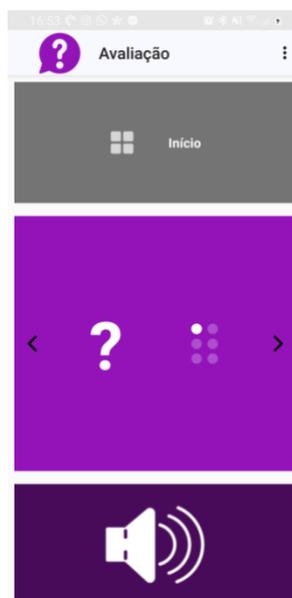
Para manter a consistência da implementação entre as telas de ensino e avaliação, foi criada uma *Activity*<sup>13</sup> Abstrata (*EducationBaseActivity*). É possível ver mais detalhes no diagrama de classes apresentado na Figura 20, o qual contém toda implementação e posicionamento dos botões, cabendo às *activities* específicas alterar os textos, cores e cuidar das ações que cada botão deve executar. A tela de

<sup>13</sup> <https://developer.android.com/guide/components/activities/intro-activities>

avaliação é representada pela classe *TestActivity* no diagrama de classes, enquanto a de Ensino é representada pela *TeachActivity*.

Assim como na tela de ensino, o primeiro botão, quando clicado, retorna para o início da aplicação. Por sua vez, o terceiro botão não exibe mais qual letra está sendo apresentada no *display*, mas a função de “falar” a letra exibida no *display* foi mantida, uma vez que, caso o usuário não consiga reconhecer a letra, ele será informado pela aplicação para que possa aprender essa letra.

Figura 23 - Tela de Avaliação



Fonte: Rocha et al. (2019)

Por fim, o segundo botão também possui diferenças quanto ao comportamento da outra tela. Esse botão, contudo, também possui três funções: deslizando para direita/esquerda, o usuário pode navegar pela lista de letras desse módulo, mas como essa tela tem como objetivo testar os conhecimentos do usuário, o mapeamento daquele caractere Braille para a letra do alfabeto não é exibido no centro do botão; com um toque duplo, a letra selecionada é enviada para a tela e com um toque único a aplicação vai solicitar que o usuário fale a letra que ele leu no *display* Braille e/ou na tela da aplicação. Após a conclusão com sucesso de cada fase, o acesso ao próximo nível é liberado.

## 5.2.2 Componente de Entrada/Saída

O módulo de entrada/saída é responsável pela interação entre os usuários e a solução, capturando as instruções do usuário, enviando esses comandos para o módulo de ensino e avaliação e entregando ao usuário as respostas dessas requisições feitas.

Tendo em vista que a solução precisa ser acessível para pessoas com limitação de visão, o foco desse componente é disponibilizar formas de interação que façam uso dos outros sentidos no lugar da visão. Sendo assim, restam como possíveis canais de interação (sentidos): olfato, paladar, tato e audição. O cenário de uso da solução impossibilita o uso dos dois primeiros, uma vez que não é comum o uso

desses sentidos para interações com dispositivos eletrônicos. Dessa forma, restam a audição e o tato como possibilidades reais para utilização.

E, levando em consideração esse cenário, a aplicação foi criada, definindo as três formas de interação a seguir: toque/*feedback* falado (usando o tato e a audição), *text-to-audio* (usando a audição) e *displays* Braille (utilizando o tato). No diagrama de classes da Figura 20, o componente de entrada e saída é representado pela classe *IOComponent*.

### **Toque e Feedback Falado (*Talkback*)**

Desde o surgimento do *software* leitor de tela, como o *Google Talkback*<sup>14</sup> e o *VoiceOver*<sup>15</sup>, os smartphones se tornaram mais populares entre os deficientes visuais. Os leitores de tela ajudam pessoas com deficiência visual a selecionarem as opções do celular, permitindo que pessoas com problemas graves de visão possam explorar as interfaces dos *smartphones* com telas sensíveis ao toque deslizando os dedos pela tela, enquanto o aparelho fala cada operação que o usuário está selecionando no aparelho. Ou seja, sempre que um aplicativo ou uma opção do aparelho for selecionado, um som é emitido alertando o usuário sobre o que está sendo selecionado, similarmente às técnicas propostas por Kane, Bigham e Wobbrock (2008).

Enquanto essas técnicas permitem que usuários cegos possam utilizar os aparelhos, elas resultam em interações mais lentas quando comparadas com o tempo que um usuário não cego leva para executar as mesmas ações (RODRIGUES *et al.*, 2015). Apesar das limitações do *feedback* falado, ele foi incluído como método de entrada por ser uma forma de interação que os usuários com problemas de visão já estão habituados e, como o objetivo é facilitar ao máximo possível a utilização da aplicação pelos usuários, é fundamental que a solução desenvolvida nesta tese empregue os métodos de interação que já são conhecidos. Uma vez que a solução é construída sobre a plataforma *Android*, o mecanismo adotado para prover esse *feedback* falado é o *Talkback* do Google.

### **Saída de Áudio/*Text-to-Speech***

O mecanismo de saída áudio/*text-to-speech* (TTS) foi escolhido por ser uma forma natural de comunicação entre o deficiente visual e o dispositivo. Esse módulo da solução é baseado na biblioteca de conversão de texto em voz<sup>16</sup> do *Android* (a mesma utilizada pelo *Talkback*), a qual permite às aplicações "lerem em voz alta" o texto exibido na tela. Assim como a entrada por toque/*feedback* falado (*Talkback*), os usuários com problemas de visão já estão habituados a receber as respostas das suas interações e solicitações às aplicações por meio de áudio, o que também ocorre quando o *Talkback* é utilizado. Dessa forma, é interessante prover aos usuários a opção de receber os resultados das solicitações deles pelo mesmo canal de interação, nesse caso, o áudio.

<sup>14</sup> <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6283677?hl>

<sup>15</sup> <https://www.apple.com/br/accessibility/iphone/vision/>

<sup>16</sup> <https://developer.android.com/reference/android/speech/package-summary.html>

### O Display Braille DISBRA

Um *display* Braille é um hardware que exibe dinamicamente em Braille a informação da tela, ligado a uma porta de saída do computador ou *smartphone*. Pode-se definir tal *display* como um dispositivo de saída tátil para visualização das letras no sistema Braille. Um *display* tradicional faz uso de um sistema eletromecânico para levantar e baixar um conjunto de pontos, conseguindo-se assim uma linha de texto em Braille. O funcionamento dos *displays* tradicionais foi abordado no Capítulo 2.

O *display* Braille desenvolvido neste trabalho, o DISBRA, foi inspirado no funcionamento de um contador numérico manual. O funcionamento de contadores é baseado na utilização de rodas ou tambores impressos com os dígitos de 0 a 9, presas a um eixo. Essas rodas juntas podem representar diferentes números, compostos de vários dígitos.

Já o funcionamento do novo modelo de *display*, desenvolvido nesse trabalho, divide cada célula Braille em dois blocos. O primeiro bloco é composto pelos três pontos que formam a coluna ou fila vertical esquerda, contendo os pontos 1, 2 e 3. O segundo bloco é composto pela coluna direita da célula Braille, composta pelos 4, 5 e 6. Para cada um dos blocos, foram mapeadas todas as possíveis combinações dos 3 pontos (tanto em alto relevo quanto sem), o que deu um total de 8 possibilidades para cada um. Todas as combinações podem ser vistas na Figura 24.

Após analisar a tabela de possibilidades, foi identificado que seria possível representar cada fileira da célula Braille com um “octógono regular extrudado”, no qual cada face poderia representar uma das 8 combinações possíveis de composição dos três pontos. Como não existe diferença na representação física dos 3 pontos do primeiro bloco e os do segundo bloco, a mesma peça que é capaz de representar os pontos 1, 2 e 3 pode ser utilizada para representar os pontos 4, 5 e 6. Isso porque o que diferencia o número dos pontos, nesse caso, é a coluna onde eles estão.

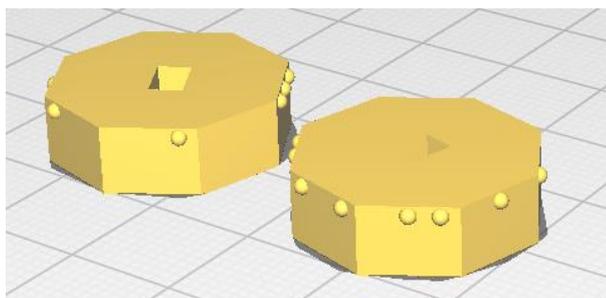
Figura 24 - Combinações Possíveis dos Pontos Braille

1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6

Fonte: Rocha et al. (2019)

Dessa forma, foi criado um modelo 3D, o qual pode ser visto na Figura 25, para representar esse “octógono regular extrudado”. Como o contador numérico junta as rodas diferentes para compor um número, é possível combinando duas dessas peças representar todos os 64 símbolos do sistema Braille tradicional.

Figura 25 - Modelo 3D

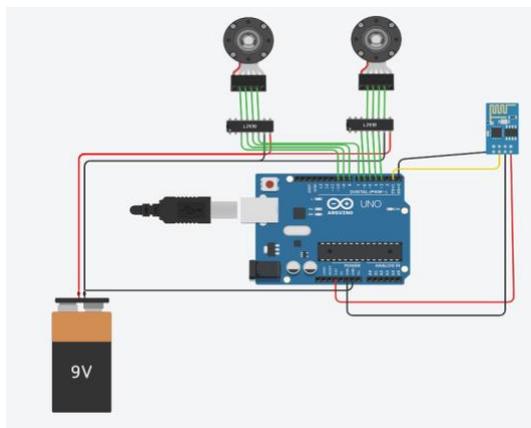


**Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)**

O modelo 3D do octógono foi criado levando em consideração as especificações de uma célula Braille padrão. Ou seja, cada ponto possui 2 milímetros de diâmetro, 0,65 milímetros de altura, e é separado do outro ponto por 2,7 milímetros, tanto verticalmente quanto horizontalmente. Duas unidades foram impressas com uma impressora 3D.

Após a impressão, cada “octógono” foi preso a um motor de passo (modelo 28BYJ-48), como pode ser visto na Figura 27. Cada motor foi ligado a um driver ULN2003, que, por sua vez, é controlado por um Arduíno nano ATmega328. Um *Bluetooth*<sup>17</sup> HC-06 foi ligado ao Arduíno para tornar possível a comunicação via *Bluetooth* com a aplicação Android. Elimina-se, assim, a necessidade de fios para ligar o *display* a um computador ou *smartphone*. O Esquema Eletrônico do DISBRA pode ser visto em detalhes na Figura 26.

Figura 26 - Esquema Eletrônico do DISBRA



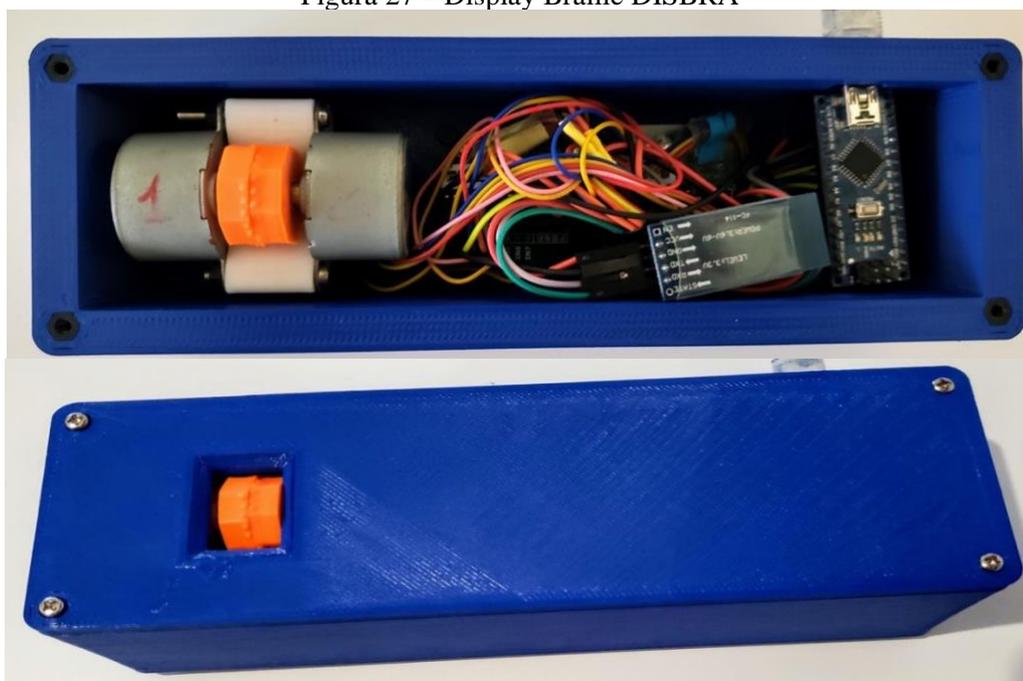
**Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)**

<sup>17</sup> <https://www.bluetooth.com/>

Os motores foram presos a um suporte criado especificamente para isso. O suporte, por sua vez, foi preso no interior de uma caixa projetada para abrigar toda a parte eletrônica do DISBRA e impedir o contato direto dos usuários com os componentes eletrônicos, minimizando assim o risco de acidentes. A versão final do DISBRA pode ser vista na Figura 27.

Em relação ao código do DISBRA, foi implementado um algoritmo que usa uma matriz para otimizar o tempo que é levado para mostrar as letras. Esse algoritmo leva em consideração a posição atual do octógono antes de solicitar que o motor o rotacione para a nova posição. Isso é possível porque os motores são capazes de rotacionar os discos tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário. Assim, o algoritmo verifica o posicionamento atual do octógono e identifica se para chegar na nova posição será mais rápido fazer as rotações no sentido horário ou anti-horário. Além da economia de tempo reduzir a duração das rotações, também implica em economia de energia, que, para um dispositivo cuja mobilidade é fundamental e a bateria limitada, é muito importante.

Figura 27 – Display Braille DISBRA



Fonte: Rocha et al. (2019)

Também foi implementado um protocolo de troca de mensagens Bluetooth para permitir que o DISBRA possa ser utilizado por outras aplicações sem que sejam necessárias alterações no código dele. As mensagens são compostas por até 2 inteiros, sendo o primeiro inteiro responsável por informar qual é o tipo da mensagem e o segundo inteiro representa o valor equivalente ao caractere enviado na tabela ASCII. Os tipos de mensagem que o DISBRA troca com a aplicação e seu respectivo identificador podem ser vistos no Quadro 21.

O DISBRA tem um custo de produção médio de 150 reais por unidade, o que pode ser considerado um valor baixo quando comparado com as soluções atualmente no mercado: o BRAILLE NOTE GPS e

o DOT SMARTWATCH custam, respectivamente, 600 e 290 dólares. O DISBRA foi avaliado por uma instrutora de Braille do Instituto de Cegos do Recife ao fim do segundo ciclo da pesquisa-ação, a qual orientou que devia ser ajustado o distanciamento dos pontos no octógono e elogiou bastante o *display*.

Quadro 21 - Tipos de Mensagens do DISBRA

TIPO DA MENSAGEM	CONTEÚDO DA MENSAGEM
GET_DISPLAY_STATUS (0)	-
GET_DISPLAYED_LETTER (1)	-
SEND_LETTER (2)	Valor inteiro da tabela ASCII equivalente a letra que deve ser exibida no display.
REPLY_DISPLAY_STATUS (3)	Os valores do status são representados pelos seguintes inteiros: 0 ( <i>Display</i> não está pronto), 1 ( <i>Display</i> pronto) 2 (Letra recebido com sucesso), 3 (Atualizando exibição da letra) e 4 (Letra exibida)
REPLY_DISPLAYED_LETTER (4)	Valor inteiro da tabela ASCII equivalente à letra atualmente exibida no display.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados os detalhes da solução BRT para ensinar o reconhecimento de caracteres Braille, tanto para videntes quanto para pessoas com deficiência visual, ou mesmo com cegueira total, e do *display* Braille (DISBRA) a ser utilizado com o BRT.

O BRT é um avanço importante por permitir o aprendizado de Braille sem a necessidade de um instrutor presencial, podendo, dessa forma, difundir o ensino de Braille para os professores, instrutores e colegas de pessoas com deficiência visual. O DISBRA, além de servir como recurso pedagógico do BRT, também foi construído para funcionar com outras aplicações, bastando apenas que o aparelho que deseje utilizar o DISBRA possua conexão *bluetooth* e implemente o protocolo de troca de mensagens do *display*, possibilitando assim inúmeros usos para o DISBRA.

No próximo capítulo, serão apresentadas as avaliações realizadas com os artefatos desenvolvidos nesta tese.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados dos experimentos realizados, bem como interpretá-los com relação aos achados encontrados no estudo. Toda a metodologia utilizada para a realização dos referidos experimentos e coleta dos resultados foi descrita na Seção 2.2.1.

Como foi explicado nos capítulos anteriores, o processo de ensino proposto nesta tese é composto por dois módulos, o módulo de treinamento e o de avaliação, contendo seis níveis cada um (no Quadro 20, essa divisão é detalhada). Com a finalidade de uma melhor visualização e discussão dos resultados obtidos após a realização dos experimentos, a apresentação dos resultados será dividida em duas partes: apresentação dos resultados do treinamento e apresentação da avaliação de usabilidade pelos participantes. Por fim, serão apresentadas as comparações com os trabalhos relacionados.

Quadro 22 - Caracterização dos Voluntários

	IDADE	SEXO	OCUPAÇÃO
<b>VOLUNTÁRIO 1</b>	22 anos	Masculino	Estudante de Graduação
<b>VOLUNTÁRIO 2</b>	20 anos	Masculino	Estudante de Graduação e Monitor
<b>VOLUNTÁRIO 3</b>	27 anos	Feminino	Estudante de Pós-Graduação
<b>VOLUNTÁRIO 4</b>	42 anos	Masculino	Professor Universitário
<b>VOLUNTÁRIO 5</b>	30 anos	Masculino	Professor de Ensino Médio e Universitário

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O Quadro 22 apresenta um resumo das características dos voluntários e atribui a cada um deles um número para servir como referência ao longo das próximas seções. Durante a revisão da literatura, foram encontrados 22 trabalhos com o objetivo de ensinar a leitura e/ou o reconhecimento de caracteres em Braille. Esses trabalhos podem ser vistos no Quadro 23. Dentre eles, apenas 6 trabalhos apresentaram resultados de avaliações feitas com voluntários.

Quadro 23 - Resultados dos Trabalhos Encontrados na Revisão da Literatura

TÍTULO/AUTOR	RESULTADO DOS TESTES DO TRABALHO
Design Of An Electronic Prototype to Teach Braille (PEÑALOZA-MENDOZA <i>et al.</i> , 2020)	Não possui resultado de testes
Enhanced Braille Display Use of OCR and Solenoid to Improve Text to Braille Conversion (KUMARI <i>et al.</i> , 2020)	Não possui resultado de testes
Factors Related to Braille Reading Acquisition among Aging Braille Learners: Exploring the Use of Technology to Enhance Training Outcomes (MARTINIELLO, 2020)	Não possui resultado de testes
An Arabic Self-Learning Braille Application for Visually Impaired People (AL-WATBAN; AL-SALMAN, 2019)	Não possui resultado de testes
Braille Grade 1 Learning and Monitoring System (VACA <i>et al.</i> , 2018)	Testaram a aceitabilidade do método proposto pelos professores.

Braille Teaching System for the Visually Impaired (KAVITHA; PRIVADARSHINI; SARADHA, 2018)	Não possui resultado de testes
Braille Technology Beyond the Financial Barriers: A Braille Literacy Platform to Effectively Combat Braille Literacy Crisis (FORCELINI; GARCIA; SCHULTZ, 2018)	Não possui resultado de testes
Developing A Self-Learning Braille Kit For Visually Impaired People (MARTILLANO <i>et al.</i> , 2018)	Não possui resultado de testes
PINDOTS: An Assistive Six-Dot Braille Cell Keying Device on Basic Notation Writing for Visually Impaired Students with IoT Technology (MARTILLANO <i>et al.</i> , 2018)	Não possui resultado de testes
Slate Master: A Tangible Braille Slate Tutor for Mobile Devices (LEE <i>et al.</i> , 2017)	Não possui resultado de testes
Tactile Braille Learning System to Assist Visual Impaired Users to Learn Taiwanese Braille (LEE <i>et al.</i> , 2017)	Não possui resultado de testes
Teaching Identity Matching of Braille Characters to Beginning Braille Readers (TOUSSAINT <i>et al.</i> , 2017)	78% de acertos no teste final, treinamento feito em média com 39 sessões de 1 hora
Braille Cell Actuator Based Teaching System for Visually Impaired Students (GANDHI; THAKKER; JHA, 2016)	Não possui resultado de testes
Braille Teaching Electronic Prototype (PAUTA; VELEZ; SERPA-ANDRADE, 2016)	60% de acertos no teste final treinamento
Audio-assisted standalone microcontroller-based Braille System Tutor for Grade 1 Braille symbols (GARCILLANOSA <i>et al.</i> , 2016)	Não possui resultado de testes
E-Braille-a self-learning Braille device (WAGH <i>et al.</i> , 2016)	Não possui resultado de testes
An automatic speech recognition system for helping visually impaired children to learn Braille (RAMLREZ <i>et al.</i> , 2016)	Não possui resultado de testes referentes ao aprendizado dos voluntários
Mudra: A Multimodal Interface for Braille Teaching (SRIVASTAVA; DAWLE, 2015)	Não possui resultado de testes
Teaching Braille Letters, Numerals, Punctuation, and Contractions to Sighted Individuals (PUTNAM; TIGER; FICHTNER, 2015)	2 h5 min 96.8% de acerto na leitura visual mesmo método de testes do trabalho de SCHEITHAUER, TIGER e MILLER (2013)
A Braille Writing Training Device with Voice Feedback (AIZAWA; WATANABE, 2014)	Não possui resultado de testes
On the Efficacy of a Computer-Based Program to Teach Visual Braille Reading (SCHEITHAUER; TIGER; MILLER, 2013)	99,6% de acerto na leitura visual nos módulos de treinamento; Não possui resultado de teste com todas as letras podendo ser enviadas no mesmo teste; Não ensina leitura tátil;

<p>A Computer-Based Program to Teach Braille Reading to Sighted Individuals (SCHEITHAUER; TIGER, 2012)</p>	<p>96% de acerto na leitura visual nos módulos de treinamento;          Não possui resultado de teste com todos as letras podendo ser enviadas no mesmo teste;          Não ensina leitura tátil;</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Fonte: Elaborado pelo autor (2020)**

Dos seis trabalhos remanescentes, destaca-se o trabalho de Scheithauer, Tiger e Miller (2013), por ser esse trabalho, dentre os encontrados na revisão da literatura, o que apresentava melhores resultados além de detalhar a metodologia do procedimento de experimentos utilizado pelos autores. Dessa forma, a partir daqui, ele será utilizado como principal ponto de comparação.

É importante destacar uma diferença entre as formas de avaliação propostas pelo BRT e por Scheithauer, Tiger e Miller (2013). Esses autores fizeram a avaliação com questões de múltipla escolha, oferecendo, dessa forma, quatro alternativas, das quais o participante deveria escolher qual a letra que está sendo apresentada a ele, enquanto no BRT a avaliação é aberta: a letra é exibida e o usuário não recebe opções para fazer a escolha. Dessa forma, no BRT a avaliação é mais difícil, pois o usuário não recebe a ajuda de opções no momento de informar qual letra está sendo exibida no *display*. Outro ponto que merece destaque é que o BRT apresenta aos participantes a opção de avaliarem se são capazes de fazer o reconhecimento tátil dos caracteres em Braille, assim diferenciando-se da maioria dos trabalhos encontrados durante a fase de revisão da literatura.

Nos testes realizados por Scheithauer, Tiger e Miller (2013), o teste final era com reconhecimento de palavras e não das letras, o que torna a comparação da avaliação final inadequada, uma vez que o usuário pode acertar uma palavra sem que necessariamente tenha reconhecido todos os caracteres.

O trabalho Toussaint *et al.* (2017) foi o único trabalho da lista exposta no Quadro 23 que tinha como objetivo ensinar a leitura tátil de Braille e que apresentou resultados dos testes realizados. Contudo, diferentemente do BRT, o treinamento era assistido por instrutores e o público-alvo dos testes foram crianças ainda não alfabetizadas, o que faz a comparação dos resultados obtidos não fazer muito sentido. As próximas seções apresentam os resultados e achados obtidos durante os testes com os cinco voluntários.

## 6.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO TREINAMENTO

Como explicado no Capítulo 2, os voluntários receberam um *smartphone* com o BRT e o *display* DISBRA e foram solicitados a passar o tempo que desejassem explorando as letras do primeiro nível, tanto no *smartphone* quanto no *display*. Os voluntários eram avisados para informar ao pesquisador quando acreditassem que já haviam memorizado como cada uma das cinco letras eram representadas em Braille. Após os voluntários informarem que haviam terminado o treinamento daquele nível, o pesquisador conduzia o teste relativo ao nível que havia sido treinado.

No teste de cada um dos níveis, as letras que compunham o nível foram exibidas em Braille para o participante que deveria dizer qual letra estava sendo mostrada no DISBRA. Em seguida, era solicitado que ele retirasse a venda, verificasse com a visão o *display* e falasse novamente qual letra que estava sendo apresentada. Após a avaliação, caso o voluntário tivesse acertado pelo menos quatro das cinco letras daquele nível, era solicitado que ele explorasse as letras do nível seguinte. Caso contrário, o voluntário deveria retornar ao treinamento do mesmo nível e realizar uma nova avaliação após ele finalizar novamente o seu treino.

### 6.1.1 Resultados do Treinamento do Voluntário 1

O participante Voluntário 1 levou 10 minutos no treinamento do Nível 1 (composto pelas letras A, B, D, G e Q), com a avaliação sendo conduzida pelo pesquisador logo em seguida. Nessa primeira avaliação, o participante acertou o mapeamento de três das cinco letras (A, B e D) por leitura tátil (utilizando o DISBRA e de olhos vendados) e acertou todas as letras com a leitura visual (olhando a letra no display). O participante comentou após a avaliação que teve dificuldades em sentir o ponto 3 da célula *Braille*, justamente o ponto que difere as letras (G e Q), e que foi isso que o levou a trocar as letras na leitura tátil.

Nos níveis 2 e 3, o participante levou respectivamente oito minutos e seis minutos para concluir o treinamento. E em ambos os níveis acertou quatro mapeamentos com leitura tátil e cinco com leitura visual. As letras que o participante não conseguiu mapear corretamente na leitura tátil foram a letra F (no Nível 2) e a letra P (no Nível 3). As letras P e F, assim como as letras G e Q, diferem entre si apenas pelo ponto 3 da célula Braille. O que indica que o participante conseguiu aprender o mapeamento, porém teve dificuldades no momento de sentir se o ponto 3 estava em alto relevo ou não.

O Voluntário 1 acertou todos os mapeamentos do Nível 4, tanto na leitura tátil quanto na leitura visual, e o treinamento desse nível durou 6 minutos. Já no quinto nível, o participante levou 8 minutos para realizar o treinamento e acertou o mapeamento de três das cinco letras na leitura tátil (errou o reconhecimento das letras K e S) e cinco das cinco letras na leitura visual. Mais uma vez, mostrou que conseguiu aprender como as letras são representadas e que sua dificuldade foi em relação à sensibilidade dos dedos, muito comum no início do processo de aprendizado de Braille.

Esse voluntário levou no total 42 minutos para concluir os cinco primeiros níveis do treinamento (com as letras divididas em grupos), acertando 76,92% dos mapeamentos na leitura tátil e 100% na leitura visual.

No sexto, e último nível, o participante treinou todas as 26 letras antes da avaliação final, acertando 20 das 26 letras na leitura tátil (76,92% de taxa de acerto) e 25 das 26 na leitura visual (96,15% de taxa de acerto). As letras que o participante não conseguiu acertar no mapeamento tátil foram F, E, H, P, R e S (o participante também errou a letra S durante o teste de leitura visual).

Os resultados alcançados pelo Voluntário 1 mostraram que esse participante conseguiu aprender

o mapeamento de praticamente todas as letras (25 de 26) e que a maior parte dos erros cometidos na leitura tátil tem relação com a dificuldade de sentir alguns pontos específicos da célula Braille em vez de problemas com a memorização do mapeamento. Após o experimento, o Voluntário 1 relatou que teve dificuldade em sentir (tátilmente) a separação das duas colunas que formam a célula Braille. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos pelo Voluntário 1 em cada um dos níveis do treinamento.

Tabela 3 - Resultados dos Testes do Voluntário 1

	LEITURA TÁTIL ACERTOS	LEITURA TÁTIL ERROS	LEITURA VISUAL ACERTOS	LEITURA VISUAL ERROS
<b>NÍVEL 1</b>	3	2	5	0
<b>NÍVEL 2</b>	4	1	5	0
<b>NÍVEL 3</b>	4	1	5	0
<b>NÍVEL 4</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 5</b>	4	2	5	0
<b>NÍVEL 6</b>	20	6	25	1

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

### 6.1.2 Resultados do Treinamento do Voluntário 2

O treinamento do Voluntário 2 nos níveis 1 e 2 durou respectivamente 6 e 7 minutos, tendo o participante acertado o mapeamento de todas as letras desses níveis tanto na leitura tátil, quanto na leitura visual. Após a realização das avaliações desses níveis, o participante relatou ter sentido um pouco de dificuldade por causa de um pequeno desalinhamento dos octógonos, e que o ponto da célula Braille que ele encontrou mais dificuldades em sentir (tátilmente) foi o ponto número 1.

No terceiro nível, o participante acertou 4 das 5 letras em ambas as formas de leitura. Assim como o Voluntário 1, o segundo participante teve dificuldade no mapeamento da letra P, confundindo-a com a letra F por diferirem apenas na presença ou não do ponto 3. O treinamento desse nível foi concluído em 6 minutos.

Os níveis 4 e 5 foram concluídos pelo participante em 6 e 5 minutos respectivamente. E o voluntário foi capaz de acertar todos os mapeamentos (com leitura tátil e com leitura visual) dos dois níveis na etapa de avaliação. Esse participante levou no total 30 minutos para concluir os cinco primeiros níveis do treinamento, acertando 96,15% dos mapeamentos na leitura tátil e 100% na leitura visual.

Tabela 4 - Resultados dos Testes do Voluntário 2

	LEITURA TÁTIL ACERTOS	LEITURA TÁTIL ERROS	LEITURA VISUAL ACERTOS	LEITURA VISUAL ERROS
<b>NÍVEL 1</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 2</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 3</b>	4	1	4	1
<b>NÍVEL 4</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 5</b>	6	0	6	0
<b>NÍVEL 6</b>	25	1	25	1

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Por fim, no sexto nível, após 10 minutos de treinamento para lembrar todas as letras, o participante acertou o mapeamento de 25 letras na leitura tátil e 26 na leitura visual. A letra que o participante confundiu durante a avaliação foi a letra I, e, segundo seu relato, isso ocorreu por causa de um pequeno desalinhamento no disco que fez com que ele sentisse um dos pontos da outra face do octógono. O resultado final da avaliação do Voluntário 2 foi excelente, reforçando a percepção que o método utilizado para ensinar o mapeamento funciona da forma esperada, pois o único erro cometido pelo participante foi causado por um equívoco tátil. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos pelo Voluntário 2 em cada um dos níveis do treinamento.

### 6.1.3 Resultados do Treinamento do Voluntário 3

O Voluntário 3 levou 3 minutos no treinamento do primeiro nível, acertando duas das cinco letras (A, B) com leitura tátil e todas as letras com a leitura visual. Esse resultado mostra novamente que o BRT ajuda no aprendizado do mapeamento e que inicialmente as pessoas encontram dificuldade para aprender a sentir os pontos na célula Braille.

O Voluntário 3 precisou realizar o treinamento do segundo nível duas vezes. Porque, na avaliação após o primeiro treinamento (que durou 4 minutos), o participante não obteve os 75% de acertos na leitura visual, necessários para passar para o nível seguinte. Nessa primeira avaliação, o voluntário acertou apenas uma letra na leitura tátil e três na leitura visual. Após novo treino, que durou 5 minutos, foi feita uma nova avaliação, na qual o participante acertou todos os mapeamentos nas duas formas de leitura.

Nos níveis 3 e 4, o participante levou respectivamente cinco minutos e quatro minutos para concluir o treinamento. E, em ambos os níveis, acertou todos os mapeamentos com leitura tátil e com leitura visual. No quinto nível, após treinar por 5 minutos, o voluntário acertou cinco dos seis mapeamentos na leitura tátil e todos na leitura visual. Esse voluntário levou no total 25 minutos para concluir os cinco primeiros níveis do treinamento, acertando 93,54% dos mapeamentos na leitura tátil e 100% na leitura visual.

Tabela 5 - Resultados dos Testes do Voluntário 3

	LEITURA TÁTIL ACERTOS	LEITURA TÁTIL ERROS	LEITURA VISUAL ACERTOS	LEITURA VISUAL ERROS
<b>NÍVEL 1</b>	2	2	5	0
<b>NÍVEL 2</b>	6	4	8	2
<b>NÍVEL 3</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 4</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 5</b>	5	1	6	0
<b>NÍVEL 6</b>	22	4	24	1

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

No sexto nível, após 4 minutos de treinamento para lembrar todas as letras, o Voluntário 3 acertou o mapeamento de 22 letras na leitura tátil e 24 na leitura visual. O resultado final da avaliação do Voluntário 3 reforça a percepção que o método utilizado para ensinar o mapeamento funciona da forma esperada, pois ao final do teste esse participante conseguiu acertar 92,31% dos mapeamentos com leitura visual. É importante ressaltar que a sensibilidade tátil para identificar os pontos na célula Braille é aperfeiçoada com o tempo e que, diferente de outros métodos de ensino que utilizam pontos com tamanho maiores no início do aprendizado, o BRT já apresenta aos aprendizes a célula Braille com tamanho padrão. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelo Voluntário 3 em cada um dos níveis do treinamento.

#### **6.1.4 Resultados do Treinamento do Voluntário 4**

O Voluntário 4 levou 15 minutos no treinamento do Nível 1. Na avaliação desse nível, o participante acertou o mapeamento de duas das cinco letras (D e Q) por leitura tátil e acertou todas as letras com a leitura visual (olhando a letra no display). O participante comentou, após a avaliação, que mapeou alguns pontos errado porque os octógonos estavam levemente desalinhados. Em razão disso, o DISBRA foi reiniciado para continuar o treinamento. No Nível 2, após reiniciar o display DISBRA para corrigir o desalinhamento relatado pelo participante, ele treinou por 10 minutos, acertando todos os mapeamentos, tanto com leitura tátil quanto com leitura visual.

Nos níveis 3 e 4, o participante levou respectivamente doze minutos e seis minutos para conclusão do treinamento. Na avaliação com leitura tátil, o participante acertou quatro dos cinco mapeamentos nos dois níveis, enquanto na leitura visual obteve 5 mapeamentos corretos para o nível 3 e quatro para o quarto nível. Já no quinto nível, o participante acertou todas as letras nos dois modos de avaliação após treinar por 10 minutos. O quarto participante levou no total 53 minutos para concluir os cinco primeiros níveis do treinamento, acertando 80,76% dos mapeamentos na leitura tátil e 95,15% na leitura visual.

A avaliação final realizada foi o sexto nível e teve como resultado 53,84% de acertos no mapeamento com leitura tátil e 92,30% de acertos na leitura visual. O participante relatou, após o fim dos testes, que no último nível estava com pouca sensibilidade nos dedos e que isso atrapalhou sua leitura tátil, o que justifica os resultados mais baixos na leitura tátil. Apesar disso, o participante conseguiu um número de acertos expressivo na leitura visual, confirmando, mais uma vez, que o método BRT é eficiente no ensino do mapeamento dos caracteres do alfabeto latino/romano para Braille. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos pelo Voluntário 4 em cada um dos níveis do treinamento.

Tabela 6 - Resultados dos Testes do Voluntário 4

	LEITURA TÁTIL ACERTOS	LEITURA TÁTIL ERROS	LEITURA VISUAL ACERTOS	LEITURA VISUAL ERROS
<b>NÍVEL 1</b>	2	3	5	0
<b>NÍVEL 2</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 3</b>	4	1	5	0
<b>NÍVEL 4</b>	4	1	4	1
<b>NÍVEL 5</b>	6	0	6	0
<b>NÍVEL 6</b>	14	12	24	2

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

### 6.1.5 Resultados do Treinamento do Voluntário 5

O Voluntário 5 foi o participante que apresentou mais dificuldades na leitura tátil ao longo dos testes. Nos dois primeiros níveis, por exemplo, ele acertou respectivamente duas e três letras na leitura tátil. Contudo, seu desempenho na leitura visual seguiu próximo do desempenho dos outros participantes da pesquisa (nos 2 primeiros níveis, foram 4 acertos e 1 erro na leitura visual).

Já nos 3º, 4º e 5º níveis, o participante conseguiu acertar todos os mapeamentos na leitura visual. Entretanto, na leitura tátil, o participante obteve 3 acertos no terceiro nível, 5 acertos no quarto nível e 4 acertos no quinto nível (lembrando que o quinto nível era composto por 6 letras). O quarto voluntário levou no total 36 minutos para concluir os cinco primeiros níveis do treinamento, acertando 65,38 % dos mapeamentos na leitura tátil e 92,30% na leitura visual.

No sexto nível, o participante apresentou resultados abaixo dos outros participantes, acertando 9 das 26 (34,61%) letras na leitura tátil e 13 (50%) na leitura visual. O Voluntário 5 foi o único a apresentar uma discrepância grande entre os resultados das avaliações dos cinco primeiros níveis e o sexto. O participante relatou cansaço durante a realização da avaliação do sexto nível, o que explicaria o desempenho abaixo do que ele obteve nos níveis anteriores. O participante também relatou ter dificuldades para sentir os pontos no *display*, por conta de não ter muita sensibilidade na ponta dos dedos. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos pelo Voluntário 5 em cada um dos níveis do treinamento.

Tabela 7 - Resultados dos Testes do Voluntário 5

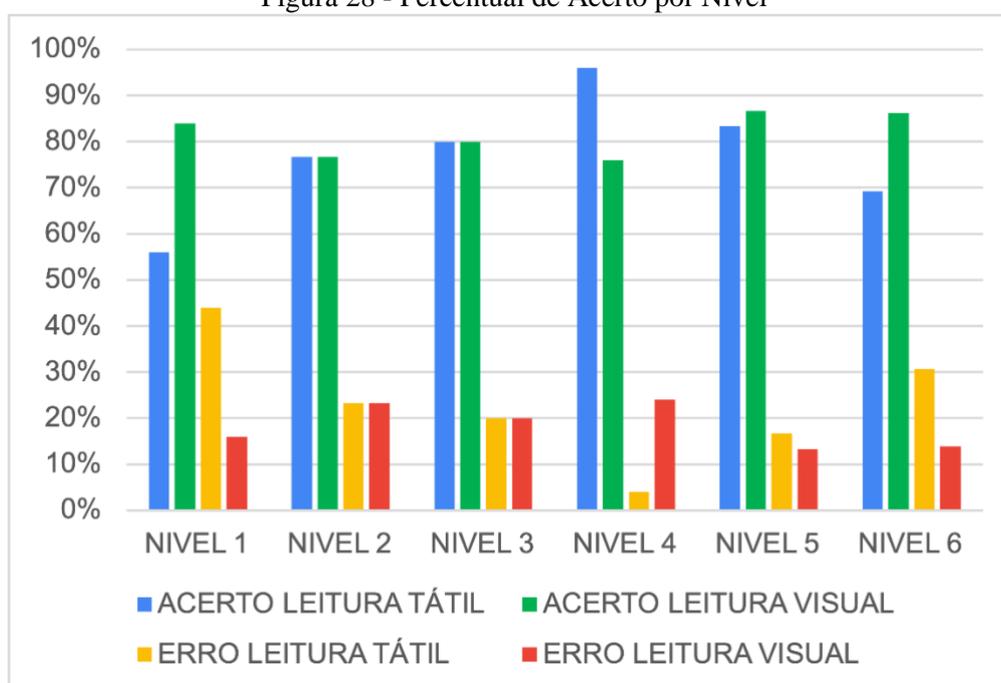
	LEITURA TÁTIL ACERTOS	LEITURA TÁTIL ERROS	LEITURA VISUAL ACERTOS	LEITURA VISUAL ERROS
<b>NÍVEL 1</b>	2	3	4	1
<b>NÍVEL 2</b>	3	2	4	1
<b>NÍVEL 3</b>	3	2	5	0
<b>NÍVEL 4</b>	5	0	5	0
<b>NÍVEL 5</b>	4	2	6	0
<b>NÍVEL 6</b>	9	17	13	13

Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

### 6.1.6 Resumo dos Resultados do Treinamento de Todos os Participantes

Nas avaliações realizadas ao final dos cinco primeiros níveis, os participantes acertaram em média 78,52% do mapeamento das letras por leitura tátil (utilizando o DISBRA e de olhos vendados) e obtiveram um percentual de acerto de 94,78 % quando podiam olhar a letra no *display*. O detalhamento do percentual de acerto de cada uma das letras pode ser visto na Figura 28. Quando comparado aos testes do método proposto por Scheithauer, Tiger e Miller (2013), a leitura visual obteve um resultado percentual bem próximo, 94,78% versus 99,6%.

Figura 28 - Percentual de Acerto por Nível



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Em relação ao número de acertos em cada nível, foi perguntado aos participantes o que eles acreditavam que tinha acontecido para o percentual de acerto médio da leitura tátil aumentar do primeiro nível (56%) para os outros. Os cinco voluntários comentaram que, durante o treinamento do segundo nível, eles haviam encontrado uma forma mais eficaz de identificar quais dos seis pontos estavam “ativos” no *display*. Também foram feitos comentários em relação a um pequeno desalinhamento entre os discos do DISBRA quando algumas letras eram exibidas e, por isso, eles tiveram dificuldade de sentir algumas dessas letras.

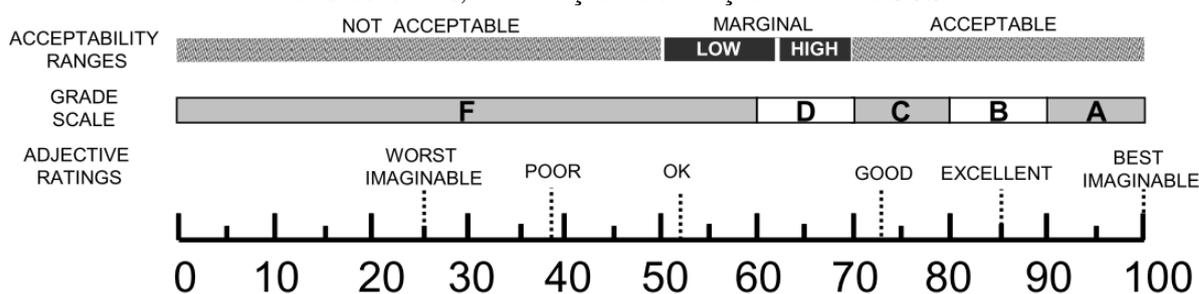
Na avaliação final do Nível 6, os participantes acertaram em média 69,23% do mapeamento das letras por leitura tátil (utilizando o DISBRA e de olhos vendados) e obtiveram um percentual de acerto de 86,82 % quando podiam olhar a letra no *display*. Nos testes realizados por Scheithauer, Tiger e Miller (2013), o teste final era com reconhecimento de palavras e não das letras, o que torna a comparação da avaliação final inadequada, uma vez que o usuário pode acertar uma palavra sem que necessariamente tenha reconhecido todos os caracteres.

É importante ressaltar o pioneirismo desta tese para o ensino de Braille sem a necessidade de instrutores presenciais, pois, apesar de ser uma área com muitas pesquisas em andamento, como pode ser visto pelo número de trabalhos encontrados na fase de revisão da literatura, poucas pesquisas atingiram um nível de maturidade suficiente para que testes formais pudessem ser realizados.

## 6.2 RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

A usabilidade dos artefatos e do processo de treinamento foi avaliada com a aplicação do questionário *System Usability Scale* (disponível no Apêndice A) após a realização do experimento com cada voluntário. Depois de calcular a pontuação dada por cada voluntário, a solução apresentada nesta tese obteve a nota média de 86,5 pontos. A Figura 29 mostra o mapeamento da escala SUS para uma classificação qualitativa com adjetivos estabelecida por Bangor, Kortum e Miller (2009). Segundo essa classificação, a pontuação obtida pelo BRT representa que o objeto estudado possui uma excelente usabilidade.

Figura 29 - Comparação das Classificações de Adjetivo, Pontuações de Aceitabilidade e Escalas de Notas Escolares, em Relação à Pontuação Média do SUS



Fonte: Bangor, Kortum e Miller (2009)

Após os voluntários terminarem o preenchimento do questionário, eles responderam uma entrevista qualitativa cujas perguntas podem ser vistas na Figura 30. O principal ponto de melhoria que os participantes citaram nas suas respostas foi sobre o tamanho dos pontos impressos nos octógonos extrudados. Segundo eles, pontos maiores e mais centralizados no octógono seriam mais fáceis de identificar. Essa sugestão precisaria ser analisada com bastante cuidado, pois o tamanho dos pontos segue a medida padrão do Braille. Contudo, é comum no processo de alfabetização de crianças em Braille serem utilizados pontos em tamanhos maiores e, à medida que o tato da criança vai ficando mais aguçado, o tamanho dos pontos é reduzido gradativamente. A avaliação em relação a essa sugestão fica como um trabalho futuro desta tese.

Figura 30 – Perguntas da Entrevista Qualitativa

O que você melhoraria no BRT e no DISBRA?  
 Quais foram as suas maiores dificuldades ao longo do experimento?  
 Qual principal fator que atrapalhou no mapeamento das letras com a leitura tátil?

Fonte: Elaborada pelo Autor (2020)

Quanto às suas maiores dificuldades, os participantes citaram principalmente dois pontos: a dificuldade para memorização de todas as letras e um pequeno desalinhamento dos octógonos. Tal desalinhamento também foi citado como o principal fator que levou aos erros cometidos durante a leitura tátil. Dessa forma, fica como sugestão para os trabalhos futuros imprimir o octógono em impressoras 3D de alta resolução, ou substituir os pontos impressos por pequenas bolinhas de metal com as dimensões precisas do padrão Braille. Uma nova impressão do DISBRA já foi realizada utilizando uma resolução maior e esse problema já se encontra corrigido.

### 6.3 COMPARAÇÃO COM OS TRABALHOS RELACIONADOS

Após analisar os trabalhos individualmente no Capítulo 4, esta seção compara-os com a solução desenvolvida neste trabalho. Para facilitar o entendimento, as comparações foram divididas em duas seções: uma para os trabalhos relacionados às soluções ligadas ao ensino de Braille e outra para as soluções de *displays* Braille dinâmicos.

#### 6.3.1 Comparação do BRT com os Trabalhos de Ensino de Braille

As comparações foram realizadas seguindo os oito critérios definidos e apresentados no Capítulo 4: Ensino de Braille com leitura tátil; ensino de Braille com leitura visual; Transportabilidade da solução; Suporte a usuário com baixa ou sem visão; Suporte a usuário com visão; Uso de *display* Braille; Replicabilidade da solução; e Necessidade de um instrutor presencial. No final desta seção, é apresentado o Quadro 24, com objetivo de resumir as análises comparativas feitas a seguir.

##### Ensino de Braille com Leitura Tátil

Em relação ao primeiro critério, o ensino de Braille com leitura tátil, três trabalhos atendem ao requisito, com um destaque para os trabalhos de Gandhi, Thakker e Jha (2016) e Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016). Nesses dois trabalhos, os autores apresentam protótipos inovadores para resolver o problema de ensino de Braille com ajuda da tecnologia. Quando comparados com a solução desenvolvida nesta tese, ambos possuem um custo mais alto pelo uso de uma quantidade maior de componentes eletrônicos. Ambos também apresentam uma maior dificuldade para replicação dos protótipos, uma vez que não apresentam esquemas para que o leitor possa construir o protótipo proposto.

##### Ensino de Braille com Leitura Visual

O segundo critério escolhido foi o ensino de Braille com leitura visual. Esse requisito foi atendido por três trabalhos: Toussaint e Tiger (2010), Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016) e Peñaloza-Mendoza *et al.* (2020). O primeiro desses trabalhos utiliza o *software* PracticeMill para apresentar os caracteres visualmente aos aprendizes, *software* esse que não leva em consideração as especificidades do ensino de Braille. Os outros dois artigos utilizam-se do protótipo construído pelos autores para apresentar as

letras aos aprendizes. A solução apresentada nesta tese inclui, além do protótipo de um *display* em Braille, um aplicativo para *smartphones* que pode ser utilizado sem a necessidade de um tutor humano para ensinar o reconhecimento visual dos caracteres Braille.

### **Transportabilidade da Solução**

Quanto ao critério de Transportabilidade da solução, foi realizada uma classificação em três níveis (Ruim, Média ou Boa). Nesse critério, três trabalhos apresentaram o que foi classificado como Transportabilidade média, pois ela é possível, mas não são cômodos transportar e instalar essas soluções. Esse incômodo é gerado pelo tamanho dos protótipos: Gandhi, Thakker e Jha (2016), Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016) e Peñaloza-Mendoza et al. (2020); e pelo alto nível de exposição dos componentes eletrônicos do protótipo: Gandhi, Thakker e Jha (2016).

Outros dois trabalhos - Scheithauer e Tiger (2012) e Toussaint et al. (2017) - foram classificados como possuindo uma Transportabilidade ruim, uma vez que precisa do transporte dos materiais didáticos, além de necessitar de um instrutor presencial que também precisa se deslocar até o local onde a sessão de ensino aconteceria. Nenhum dos trabalhos analisados possui a possibilidade de ser levado de forma tão fácil quanto o BRT desenvolvido neste trabalho, o qual é leve e pequeno quando comparado às outras soluções. Além disso, no caso de ser utilizado por um usuário com visão, pode ser realizado apenas com o uso do aplicativo para *smartphones*.

### **Suporte ao Usuário com Baixa ou Sem Visão**

O requisito suporte ao usuário com baixa visão ou sem visão não foi atendido apenas pelo trabalho de Scheithauer e Tiger (2012), pois utiliza um *software* puramente visual e que não foi criado para ser utilizado por pessoas sem visão. Os outros quatro trabalhos destacados nesta seção apresentaram formas de serem utilizados por usuários com problemas de visão. Contudo, dois deles precisavam de um instrutor presencial para guiar a utilização: Gandhi, Thakker e Jha (2016) e Toussaint *et al.* (2017). Os trabalhos de Pauta, Velez, Serpa-Andrade (2016) e Peñaloza-Mendoza *et al.* (2020) apresentam instruções via áudio para que os usuários possam utilizar as soluções. Nesse quesito, todos os trabalhos ficam atrás do BRT, pois os usuários podem utilizá-lo por comandos de voz e/ou via Talkback<sup>18</sup> (leitor de tela dos *smartphones* Android<sup>19</sup>).

### **Suporte ao Usuário com Visão**

O critério de oferecer suporte a usuários com visão tem o objetivo de avaliar se o trabalho faz uso da visão do usuário para potencializar o aprendizado dele. Dessa forma, esse quesito foi atendido por três dos cinco trabalhos. Em Scheithauer e Tiger (2012), a solução é completamente visual, tendo sido pensada justamente para uso de pessoas que enxergam. Os outros dois trabalhos relacionados que

---

<sup>18</sup> [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.marvin.talkback&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.marvin.talkback&hl=pt_BR)

<sup>19</sup> <https://www.android.com>

atendem a esse requisito apresentaram protótipos de dispositivos que ofereciam suporte a usuários com visão: Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016) e Peñaloza-Mendoza et al. (2020). Quando comparados com o BRT, os três trabalhos deixam a desejar, pois o BRT oferece suporte para usuários com visão utilizarem a aplicação para *smartphones* de forma independente ou, caso prefiram, em conjunto com o *display* Braille.

### **Uso de Display Braille**

O sexto quesito analisado foi se a solução faz uso de um *display* Braille no processo de ensino. Para aumentar o alcance desse critério, foi flexibilizada a definição de *display* Braille, de forma que protótipos de *displays* pudessem ser considerados como aderentes ao requisito. Dessa maneira, três soluções apresentam dispositivos similares a um *display* Braille: Gandhi, Thakker e Jha (2016), Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016) e Peñaloza-Mendoza et al. (2020). Contudo, todos os dispositivos são mais caros e maiores que o *display* do BRT, dando uma vantagem dupla ao BRT quanto à Transportabilidade e ao custo de produção.

### **Replicabilidade do Dispositivo**

O sétimo requisito analisado foi a replicabilidade dos dispositivos propostos para auxiliar o ensino de Braille. Dois trabalhos, dos cinco analisados, de Scheithauer e Tiger (2012) e Toussaint et al. (2017) não fizeram uso de novos dispositivos e, portanto, não serão avaliados quanto a esse critério. Já os trabalhos de Gandhi, Thakker e Jha (2016) e Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016) não apresentam informações relativas ao projeto do dispositivo eletrônico, ficando inviável a sua replicação. Apenas o artigo de Peñaloza-Mendoza et al. (2020) apresenta um esquema detalhado para que o dispositivo possa ser replicado. Sendo assim, apenas esse trabalho dentre os analisados é facilmente replicável. O critério de replicabilidade é importante para que a solução possa ser popularizada como um método de ensino de Braille. O BRT para facilitar a replicabilidade faz uso apenas de componentes básicos de Arduino<sup>20</sup> e impressão 3D.

### **Necessidade de Instrutor Presencial**

O último requisito analisado foi a necessidade de um instrutor para guiar presencialmente os aprendizes. Dois trabalhos necessitam de instrutor presencial: Gandhi, Thakker e JHA (2016) e Toussaint et al. (2017). Enquanto os outros três não necessitam: Pauta, Velez e Serpa-Andrade (2016), Peñaloza-Mendoza et al. (2020) e Scheithauer e Tiger, (2012). Um dos principais gargalos do ensino de Braille é a necessidade de um instrutor no processo de ensino (SCHEITHAUER; TIGER, 2012), por isso é importante que todo o processo possa ser realizado de forma autônoma pelo usuário, permitindo que a pessoa consiga praticar e aprender sem a necessidade de um tutor/instrutor em todos os momentos.

---

<sup>20</sup> <https://arduino.cc>

O Quadro 24 apresenta um resumo da comparação entre os trabalhos relacionados ao ensino de Braille com o BRT, a solução apresentada nesta tese.

Quadro 24 – Quadro Comparativo dos Trabalhos Relacionados de Ensino de Braille e BRT

	SCHEITHAUER; TIGER, 2012	(TOUSSAINT <i>et al.</i> , 2017)	(GANDHI; THAKKER; JHA, 2016)	(PAUTA, Jorge Andres Acuay; VELEZ; SERPA- ANDRADE, 2016)	(PEÑALOZA- MENDOZA <i>et</i> <i>al.</i> , 2020)	BRT
Ensino de Braille com leitura tátil	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Ensino de Braille com leitura visual	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Transportabilidade da solução	Ruim	Ruim	Média	Média	Média	Boa
Suporte a usuário com baixa ou sem visão	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Suporte a usuário com visão	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Uso de <i>display</i> Braille	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Replicabilidade do Dispositivo	-	-	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
Instrutor presencial	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)

### 6.3.2 Comparação do DISBRA com os Trabalhos de Displays Braille

Após analisar os sete trabalhos individualmente, essa seção compara-os com o *display* Braille criado para o BRT, considerando os quatro critérios definidos: Transportabilidade da solução, usabilidade, custo e replicabilidade. Em relação ao critério do tipo do dispositivo, foram avaliados dois relógios de pulso com *display* Braille e cinco *displays* para computadores, sendo três desses *displays* compostos por uma célula. Ao final desta seção, será apresentado o Quadro 25, o qual resume os principais pontos analisados nessa seção.

### **Transportabilidade da Solução**

De acordo com critério de Transportabilidade, as soluções de Sutariya *et al.* (2018), Reis (2013) e Schmidt *et al.* (2014) apresentam uma baixa Transportabilidade, pois é necessário que os dispositivos estejam ligados a um computador para funcionar. Já o protótipo proposto por Hassan *et al.* (2020) não possui informações suficientes para que se classifique o nível de Transportabilidade dele. Enquanto isso, o BrailleNote GPS, o Dot Smartwatch e o dispositivo de Minatani (2016) apresentam uma alta Transportabilidade. Dos sete trabalhos, apenas o Dot Smartwatch possui a possibilidade de ser levado de forma tão fácil quanto o BRT, o qual é leve e pequeno quando comparado às outras soluções.

### **Usabilidade da Solução**

No critério de usabilidade, os trabalhos de Schmidt *et al.* (2014), Minatani (2016), Sutariya *et al.* (2018), Hassan *et al.* (2020) e Reis (2013) apresentam problemas e foram classificados como ruins. Eles apresentam componentes desprotegidos, necessidade de estar ligados a computador e não funcionarem com *smartphones*. Por serem produtos comerciais, o BrailleNote e o Dot têm uma boa usabilidade. Tendo como lições os problemas de usabilidade citados ao longo deste capítulo, o *display* do BRT foi criado com a preocupação de guardar todos os componentes de forma segura para que possa ser manuseado sem riscos, e também obteve 86,5 pontos na aplicação do SUS, mostrando que a usabilidade é muito boa.

### **Custo**

Em relação ao custo das soluções, por serem produtos comerciais, o BrailleNote e o Dot apresentam um custo elevado para o público-alvo. Já as propostas de Sutariya *et al.* (2018), Reis (2013) e Schmidt *et al.* (2014) apresentam custos baixos e uso de componentes acessíveis e baratos, sendo fonte de inspiração para construção do dispositivo apresentado no Capítulo 5. Por falta de detalhes, não foi possível estimar o custo dos dispositivos propostos por Hassan *et al.* (2020) e Minatani (2016).

### **Replicabilidade**

O último critério analisado foi a facilidade de replicar o *display* proposto. Sendo soluções comerciais, tanto o BrailleNote quanto o Dot Smartwatch não são passíveis de replicação. Já que os dispositivos propostos por Sutariya *et al.* (2018), Reis (2013) e Bernart Schmidt *et al.* (2014) apresentam detalhes de como construir o protótipo proposto, isso torna fácil sua replicação. Por outro lado, os trabalhos de Hassan *et al.* (2020) e Minatani (2016) carecem de maiores detalhes quanto à construção do dispositivo, o que torna a sua replicação difícil. O critério de replicabilidade é importante para que a solução possa ser popularizada. O BRT, para facilitar a replicabilidade, faz uso apenas de componentes básicos de Arduíno e impressão 3D.

O Quadro 25 apresenta um resumo da comparação entre os trabalhos relacionados ao compará-los com o DISBRA criado para o BRT, a solução apresentada nesta tese.

Quadro 25 - Quadro Comparativo dos Trabalhos Relacionados de Display de Braille e BRT

	(BERNARD SCHMIDT <i>et al.</i> , 2014)	(REIS, 2013)	(MINATANI, 2016)	(SUTARIYA <i>et al.</i> , 2018)	(NAIMULL HASSAN <i>et al.</i> , 2020)	<i>BrailleNote GPS</i>	<i>Dot Smartwatch</i>	<b>BRT</b>
<b>Tipo do Dispositivo</b>	Display braille de uma única célula	Display braille	Relógio de pulso com um Display braille	Display Braille	Display Braille	Computador com Display Braille	Relógio de pulso com Display Braille	Display Braille de uma única célula
<b>Transportabilidade e da solução</b>	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	-	Alta	Alta	Alta
<b>Usabilidade</b>	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Boa	Boa	Boa
<b>Custo</b>	Baixo	Baixo	-	Baixo	-	Alto	Alto	Baixo
<b>Replicabilidade</b>	Fácil	Fácil	Difícil	Fácil	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil

**Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)**

#### 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos após realizar o experimento com os cinco voluntários. Estes resultados foram importantes para mostrar a viabilidade e eficácia do BRT, mostrando que é possível ensinar o reconhecimento dos caracteres Braille sem a necessidade de um instrutor presencial. Os resultados advindos da aplicação do questionário SUS também mostraram que os usuários acharam a usabilidade da solução excelente. Por fim, foi apresentada uma comparação da solução proposta nesta tese com os trabalhos relacionados.

O próximo capítulo tem como objetivo concluir esta tese e apresentar as sugestões de trabalhos futuros.

## 7 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta a discussão final sobre o que foi desenvolvido no presente trabalho, a resposta à questão de pesquisa, a comprovação da hipótese de pesquisa levantada, a resposta à questão de pesquisa, as contribuições e inovações desta tese, bem como as limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

O objetivo geral desta tese foi criar um dispositivo e método de uso capazes de aumentar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano de professores, instrutores e colegas de classe de alunos deficientes visuais, sem a necessidade de auxílio de um professor de Braille.

Para isso, foi criado o Braille Reader Tutor (BRT) e o *display* Braille DISBRA, apresentados no Capítulo 5. O BRT foi projetado para atender aos critérios de *design* universal, contendo gestos específicos independentes da visão, como deslizar para os lados, instruções de voz, vibrações e reconhecimento de fala, enquanto o DISBRA é um *display* Braille *open source* e de baixo custo (150 reais), construído utilizando Arduíno e impressão 3D. O funcionamento do DISBRA foi inspirado no funcionamento de um contador numérico manual e ele pode ser utilizado para outros fins de forma independente do BRT. O *display* foi testado por uma instrutora de Braille do Instituto dos Cegos do Recife, que elogiou bastante a iniciativa de criar um *display* com um valor acessível.

Com o objetivo de mostrar a viabilidade da solução e comprovar a hipótese de pesquisa, foram realizados testes com cinco voluntários que não possuíam conhecimento de Braille. Os resultados desses testes e a discussão deles podem ser encontrados no Capítulo 6.

Ao final dos testes e da coleta de dados, foram avaliados os resultados obtidos, o que permitiu chegar à conclusão de que BRT melhora a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille para o alfabeto romano para professores, instrutores e colegas de turma de alunos com deficiência visual com uma boa usabilidade, sem a necessidade de um instrutor presencial.

Os resultados dos testes apresentados no Capítulo 6 mostraram que, após todo o treinamento proposto pelo BRT, os participantes foram capazes de reconhecer 69,23% das letras do alfabeto em Braille com a inspeção tátil e olhos vendados e 86,82% quando a leitura foi feita sem os olhos vendados. Quanto à usabilidade do BRT, a nota média obtida após a aplicação dos questionários SUS com os voluntários foi 86,5 pontos. O que, de acordo com Bangor, Kortum e Miller (2009), representa que o objeto estudado possui uma excelente usabilidade. Esses resultados refutam as previsões P1, P2 e P3 apontadas no Capítulo 1, confirmando dessa forma a previsão P0, ratificando, assim, a Hipótese de Pesquisa.

Com base nestes resultados, é possível responder à pergunta de pesquisa, afirmando que utilizando o BRT é possível melhorar a capacidade de reconhecimento e mapeamento de caracteres Braille, associando-os ao alfabeto romano e dispensando instrutores presenciais, para professores e colegas de turma que convivem com alunos deficientes visuais.

É importante enfatizar a contribuição desta tese para o estado da arte do ensino de Braille autônomo e para evolução dos *displays* Braille dinâmicos, pois, apesar de existirem muitas pesquisas em andamento sobre formas diferentes de ensinar Braille, como foi comprovado por um bom número de trabalhos encontrados na fase de revisão da literatura, poucas dessas pesquisas evoluíram ao ponto de realizar testes com voluntários. Já este trabalho, além de apresentar o Braille *Reader Tutor* e o DISBRA, apresentou, no Capítulo 6, os resultados dos testes realizados.

## 7.1 CONTRIBUIÇÕES E INOVAÇÕES

Esta tese apresentou o Braille *Reader Tutor* como uma inovação para o estado da arte do ensino de Braille a distância. Nenhum dos trabalhos encontrados durante a revisão da literatura foi capaz de ensinar a leitura de Braille visual e tátil sem a necessidade de um instrutor presencial.

Ao longo deste trabalho, também foi apresentado o DISBRA, uma inovação relevante para a área de *displays* Braille dinâmicos de uma única célula. É um *display* de fácil replicabilidade e baixo custo.

Além do BRT e do DISBRA, esta pesquisa contribuiu com a publicação de dois artigos:

- Ensinando a Identificação de Caracteres Braille utilizando Dispositivos Móveis e um Display Braille. Publicado em 2019 na Revista Novas Tecnologias na Educação
- *An Open Source Refreshable Braille Display*. Publicado e apresentado em 2020 na International Conference on Human-Computer Interaction

## 7.2 LIMITAÇÕES

O BRT, apesar de ter obtido resultados positivos na avaliação dos participantes dos experimentos e de proporcionar a construção da aplicação e do DISBRA, apresenta algumas limitações a serem trabalhadas.

A avaliação da solução ficou restrita a uma amostra reduzida de participantes por causa da pandemia da COVID-19 no Brasil.

Fatores como a eficácia do BRT com relação ao uso por deficientes visuais não puderam ser verificados também por causa da pandemia, pois não foi possível a realização dos testes finais com deficientes visuais no Instituto dos Cegos do Recife, uma vez que ficou fechado por causa das restrições de funcionamento impostas pelo Governo do Estado.

Quanto ao DISBRA, existe uma limitação relacionada à sua miniaturização, pois as peças necessárias para reduzir o tamanho do *display* não foram encontradas com facilidade, obrigando o *display* a possuir uma única célula Braille.

Outra limitação foi a falta de trabalhos similares para realizar uma comparação com os resultados desta tese. Apesar da ampla pesquisa que foi realizada para a elaboração desta tese, não foi encontrado

trabalho com um protocolo de avaliação final viável de ser realizado.

### 7.3 TRABALHOS FUTUROS

Dadas as limitações deste trabalho, é possível propor novas pesquisas que possam ser realizadas futuramente:

- Avaliar o Braille Reader Tutor com uma amostra maior de participantes;
- Avaliar o desempenho do BRT para o ensino de deficientes visuais;
- Criar uma forma de treinamento independente do *smartphone*;
- Analisar o uso de gamificação com o BRT; e
- Miniaturizar e aperfeiçoar o *display* Braille DISBRA.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Acessibilidade de Pessoas Portadoras de Deficiências a Edificações, Espaço, Mobiliário e Equipamento Urbanos. 2004. Available at: <http://www.mpdf.gov.br/sicorde/NBR9050-31052004.pdf>. Accessed on: 20 Sep. 2020.

AIZAWA, F.; WATANABE, T. A Braille Writing Training Device with Voice Feedback. **Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility**, New York, New York, USA, no. October 2014, p. 243–244, 2014. DOI 10.1145/2661334.2661390. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2661334.2661390>.

AL-WATBAN, A.; AL-SALMAN, A. An Arabic Self-Learning Braille Application for Visually Impaired People. May 2019. **2019 2nd International Conference on Computer Applications Information Security (ICCAIS)** [...]. [S. l.: s. n.], May 2019. p. 1–5. <https://doi.org/10.1109/CAIS.2019.8769570>.

AQEL, M. O. A.; ISSA, A.; HARB, A.; SHEHADA, J. Development of Vibro-Tactile Braille Display and Keyboard. Oct. 2019. **2019 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)** [...]. [S. l.: s. n.], Oct. 2019. p. 28–33. <https://doi.org/10.1109/ICPET.2019.00013>.

ARAÚJO, M. C. C.; SILVA, A. R. S.; DARIN, T. G. R.; DE CASTRO, E. L.; ANDRADE, R. M. C.; DE LIMA, E. T.; SÁNCHEZ, J.; DE C. FILHO, J. A.; VIANA, W. Design and Usability of a Braille-Based Mobile Audiogame Environment. 2016. **Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. p. 232–238. DOI 10.1145/2851613.2851701. Available at: <https://doi.org/10.1145/2851613.2851701>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9241: ergonomia da interação humano-sistema. Parte 11: orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, 2011. .

AWANG DAMIT, D. S.; CHE ANI, A. I.; MUHAMAD, A. I.; ABBAS, M. H.; ALI, F. Z. Dual braille code translator: Basic education tool for visually impaired children. Sep. 2014. **2014 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)** [...]. Langkawi: IEEE, Sep. 2014. p. 399–402. DOI 10.1109/I4CT.2014.6914213. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6914213>.

BANGOR, A.; KORTUM, P.; MILLER, J. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. **Journal of usability studies**, vol. 4, no. 3, p. 114–123, 2009. Available at: <http://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>.

BENTO GERALDES, W.; ROSA MARTINS, E.; RODRIGUES AFONSECA, U. Avaliação da Usabilidade do Scratch utilizando o Método System Usability Scale (SUS). 4 Nov. 2019. **Anais da Escola Regional de Informática de Mato Grosso (ERI-MT)** [...]. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 4 Nov. 2019. p. 25–30. DOI 10.5753/eri-mt.2019.8589. Available at: <https://sol.sbc.org.br/index.php/eri-mt/article/view/8589>.

BERNART SCHMIDT, M.; GUSTAVO, L.; GARCÍA RAMIREZ, A. R.; RAMIREZ, A. R. G. Single Braille cell. May 2014. **ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference, BRC** [...]. [S. l.]: IEEE, May 2014. p. 1–5. DOI 10.1109/BRC.2014.6880990. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6880990/>.

BETTELANI, G. C.; AVERTA, G.; CATALANO, M. G.; LEPORINI, B.; BIANCHI, M. Design and

Validation of the *Readable* Device: A Single-Cell Electromagnetic Refreshable Braille Display. **EEE Trans. Haptics**, Washington, DC, USA, vol. 13, no. 1, p. 239–245, Jan. 2020. DOI 10.1109/TOH.2020.2970929. Available at: <https://doi.org/10.1109/TOH.2020.2970929>.

BEYER, H.; HOLTZBLATT, K. **Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1998.

BOAS, L. L. V. **COMPREENSÃO TEXTUAL DE ALUNOS CEGOS COM O DOMÍNIO DO BRAILLE**. 2010. UFPE, 2010.

BOURNE, R. R. A.; FLAXMAN, S. R.; BRAITHWAITE, T.; CICINELLI, M. V.; DAS, A.; JONAS, J. B.; KEEFFE, J.; KEMPEN, J. H.; LEASHER, J.; LIMBURG, H.; NAIDOO, K.; PESUDOV, K.; RESNIKOFF, S.; SILVESTER, A.; STEVENS, G. A.; TAHHAN, N.; WONG, T. Y.; TAYLOR, H. R.; BOURNE, R.; ... ZHENG, Y. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet Global Health**, vol. 5, no. 9, p. e888–e897, Sep. 2017. DOI 10.1016/S2214-109X(17)30293-0. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214109X17302930>.

BRASIL. DECRETO Nº 5.296. 2004. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm).

BRASIL. **Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. Grafia a Braille para a Língua Portuguesa**. Brasília: [s. n.], 2006.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. *Tecnologia Assistiva*. , p. 138, 2007. .

BROOKE, J. **SUS: A quick and dirty usability scale**. [S. l.: s. n.], 1995. vol. 189, .

BROOKE, J. **SUS: A Retrospective**. **Journal of usability studies**, vol. 8, no. 2, p. 29–40, 2013. Available at: <https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/>.

CALDER, D. J. Assistive technology interfaces for the blind. **2009 3rd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, DEST '09**, , p. 318–323, 2009. <https://doi.org/10.1109/DEST.2009.5276752>.

CHALEGRE, V. **UMA METODOLOGIA DE TESTE DE ACESSIBILIDADE PARA USUÁRIOS CEGOS EM AMBIENTES WEB**. 2011. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

COOPER, A.; SAFFO, P. **The Inmates Are Running the Asylum**. USA: Macmillan Publishing Co., Inc., 1999.

DAVISON, R.; MARTINSONS, M. G.; KOCK, N. Principles of canonical action research. **Information Systems Journal**, vol. 14, no. 1, p. 65–86, 2004. DOI 10.1111/j.1365-2575.2004.00162.x. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2575.2004.00162.x>.

DOMINGUES, C. dos A.; SÁ, E. D. de; CARVALHO, S. H. R. de; ARRUDA, S. M. C. de P.; SIMÃO, V. S. **A Educação Especial na Perspectiva da Inclusão Escolar : os alunos com deficiência visual : baixa visão e cegueira**. [S. l.: s. n.], 2010. Available at: [http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fportal.mec.gov.br%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_docman%26task%3Ddoc\\_download%26gid%3D7103%26Itemid%3D&ei=X3u3U5XCJ6aksQTow4GoDA&usq=AFQjCNGNLKX7gK5RPUutfFLeuP-0x](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fportal.mec.gov.br%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D7103%26Itemid%3D&ei=X3u3U5XCJ6aksQTow4GoDA&usq=AFQjCNGNLKX7gK5RPUutfFLeuP-0x).

FAÇANHA, A. R.; LIMA, L. S.; ARAÚJO, M. da C. C.; CARVALHO, W. V. de; PEQUENO, M. C. Auxiliando o Processo de Ensino-Aprendizagem do Braille Através de Dispositivos Touch Screen. **Informática na educação: teoria & prática**, vol. 15, no. 2, p. 153–169, 21 Dec. 2012. DOI 10.22456/1982-1654.23197. Available at: <https://seer.ufrgs.br/InfEducTeoriaPratica/article/view/23197>.

FORCELINI, P. G.; GARCIA, L. S.; SCHULTZ, E. P. B. Braille Technology Beyond the Financial Barriers: A Braille Literacy Platform to Effectively Combat Braille Literacy Crisis. 2018. **Proceedings of the 8th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-Exclusion** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. p. 41–46. DOI 10.1145/3218585.3218590. Available at: <https://doi.org/10.1145/3218585.3218590>.

GALVÃO FILHO, T.; DAMASCENO, L. Tecnologia Assistiva para autonomia do aluno com necessidades educacionais especiais,. **Revista Inclusão**, Brasília, , p. 1–60, 2006. Available at: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/revistainclusao2.pdf>.

GANDHI, S.; THAKKER, B.; JHA, S. Braille cell actuator based teaching system for visually impaired students. May 2016. **2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)** [...]. Bangalore: IEEE, May 2016. p. 1381–1385. DOI 10.1109/RTEICT.2016.7808057. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7808057/>.

GARCILLANOSA, M. M.; APUYAN, K. N. T.; ARRO, A. M.; ASCAN, G. G. Audio-assisted standalone microcontroller-based Braille System Tutor for Grade 1 Braille symbols. 2016. **2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)** [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 439–442. <https://doi.org/10.1109/IMCEC.2016.7867250>.

GUERREIRO, J.; GONÇALVES, D.; MARQUES, D.; GUERREIRO, T.; NICOLAU, H.; MONTAGUE, K. The today and tomorrow of Braille learning. 2013. **Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13** [...]. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. p. 1–2. DOI 10.1145/2513383.2513415. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2513383.2513415>.

HAZIN DA ROCHA, V.; SILVA, D.; BOA VISTA MAIA BISNETO, A.; FELIPE DA SILVA, G.; DA FONSECA DE SOUZA, F. Ensinando a Identificação de Caracteres Braille utilizando Dispositivos Móveis e um Display Braille. **RENOTE**, vol. 17, no. 3, p. 82–91, 31 Dec. 2019. DOI 10.22456/1679-1916.99429. Available at: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/99429>.

HERRERO, S.; BLISEO, A. Método para el aprendizaje del código de lectoescritura braille. **ONCE**, 1989.

HIX, D.; HARTSON, H. R. **Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product & Process**. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

HOSSAIN, S.; RAIED, A. A.; RAHMAN, A.; ABDULLAH, Z. R.; ADHIKARY, D.; KHAN, A. R.; BHATTACHARJEE, A.; SHAHNAZ, C.; FATTAH, S. A. Text to Braille Scanner with Ultra Low Cost Refreshable Braille Display. Oct. 2018. **2018 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)** [...]. [S. l.: s. n.], Oct. 2018. p. 1–6. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601552>.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. 2018. Available at: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101705\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101705_informativo.pdf).

JOKELA, T.; IIVARI, N.; MATERO, J.; KARUKKA, M. The standard of user-centered design and the standard definition of usability. **Proceedings of the Latin American conference on Human-computer interaction - CLIHC '03**, , p. 53–60, 2003. DOI 10.1145/944519.944525. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=944519.944525>.

KANE, S. K.; BIGHAM, J. P.; WOBROCK, J. O. Slide rule: making mobile touch screens accessible to blind people using multi-touch interaction techniques. 2008. **Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '08** [...]. New York, New York, USA, New York, USA: ACM Press, 2008. p. 73. DOI 10.1145/1414471.1414487. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1414471.1414487>.

KAVITHA, K.; PRIVADARSHINI, A.; SARADHA, V. Braille Teaching System for the Visually Impaired. Mar. 2018. **2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)** [...]. [S. l.: s. n.], Mar. 2018. p. 1301–1304. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474928>.

KIM, J.; HAN, B.-K.; PYO, D.; RYU, S.; KIM, H.; KWON, D.-S. Braille Display for Portable Device Using Flip-Latch Structured Electromagnetic Actuator. **EEE Trans. Haptics**, Washington, DC, USA, vol. 13, no. 1, p. 59–65, Jan. 2020. DOI 10.1109/TOH.2019.2963858. Available at: <https://doi.org/10.1109/TOH.2019.2963858>.

KUMARI, S.; AKOLE, A.; ANGNANI, P.; BHAMARE, Y.; NAIKWADI, Z. Enhanced Braille Display Use of OCR and Solenoid to Improve Text to Braille Conversion. Jun. 2020. **2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)** [...]. [S. l.: s. n.], Jun. 2020. p. 1–5. <https://doi.org/10.1109/INCET49848.2020.9153996>.

LEE, G.; QUERO, L. C.; YANG, J.; JUNG, H.; SON, J.; CHO, J. Slate Master: A Tangible Braille Slate Tutor for Mobile Devices. 2017. **Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2017. DOI 10.1145/3098279.3122151. Available at: <https://doi.org/10.1145/3098279.3122151>.

LOCONSOLE, C.; LEONARDIS, D.; GABARDI, M.; FRISOLI, A. BrailleCursor: an Innovative Refreshable Braille Display Based on a Single Sliding Actuator and Simple Passive Pins. Jul. 2019. **2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)** [...]. [S. l.: s. n.], Jul. 2019. p. 139–144. <https://doi.org/10.1109/WHC.2019.8816128>.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7th ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARIMON BOUCINHA, R.; MARGARIDA ROCKENBACH TAROUÇO, L. Avaliação de Ambiente Virtual de Aprendizagem com o uso do SUS - System Usability Scale. **Renote**, vol. 11, 2014. <https://doi.org/10.22456/1679-1916.44479>.

MAROTTI, J.; MANTELLI, A.; FURUYAMA, R.; PIGOZZO, M.; CAMPOS, T.; LAGANÁ, D. C. Amostragem em pesquisa clínica: Tamanho da amostra. **Rev odontol Unicid**, vol. 20, p. 186–194, 1 Jan. 2008. .

MARTILLANO, D. A.; CHOWDHURY, A. F. D.; DELLOSA, J. C. M.; MURCIA, A. A.; MANGOMA, R. J. P. PINDOTS: An Assistive Six-Dot Braille Cell Keying Device on Basic Notation Writing for Visually Impaired Students with IoT Technology. 2018. **Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Education and E-Learning** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. p. 41–47. DOI 10.1145/3291078.3291106. Available at: <https://doi.org/10.1145/3291078.3291106>.

MARTÍNEZ, I.; POLO, D. **GUÍA DIDÁCTICA PARA LA LECTOESCRITURA BRAILLE**. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles, 2004.

MARTINIELLO, N. Factors Related to Braille Reading Acquisition among Aging Braille Learners: Exploring the Use of Technology to Enhance Training Outcomes. **SIGACCESS Access. Comput.**, New York, NY, USA, no. 123, Mar. 2020. DOI 10.1145/3386402.3386407. Available at: <https://doi.org/10.1145/3386402.3386407>.

MARTINS, A. I.; ROSA, A. F.; QUEIRÓS, A.; SILVA, A.; ROCHA, N. P. European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS). **Procedia Computer Science**, vol. 67, no. Dsai, p. 293–300, 2015. DOI 10.1016/j.procs.2015.09.273. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.273>.

MAYHEW, D. J. **The Usability Engineering Lifecycle: A Practitioner's Handbook for User Interface Design**. 1st ed. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1999.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 2nd ed. São Paulo: Novatec, 2015.

MELO, A. M.; COSTA, J. B. da; SOARES, S. C. de M. **Tecnologias Assistivas**. [S. l.: s. n.], 2006.

MERRIAM, S. B. **Qualitative Research and Case Study Applications in Education: Revised and Expanded from Case Study Research in Education**. [S. l.]: Wiley, 1998. Available at: <https://books.google.com.br/books?id=kYMtQgAACAAJ>.

MINATANI, K. A proposal for a user interface with a several-cell refreshable braille display: A case of a wristwatch-shaped wireless refreshable braille display. **2015 5th International Conference on Information and Communication Technology and Accessibility, ICTA 2015**, 2016. <https://doi.org/10.1109/ICTA.2015.7426883>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 356/2020. 2020. .

MUNTASIR RAHMAN, A. M.; MAHMUD KHANDAKER, S.; SALEHEEN, N. N.; NOBI AFEE, T.; AFRIN, N.; ALAM, M. A. A Portable Braille Refreshable Display Using Micro Servos. Jun. 2018. **2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision Pattern Recognition (icIVPR)** [...]. [S. l.: s. n.], Jun. 2018. p. 212–217. <https://doi.org/10.1109/ICIEV.2018.8641028>.

NAIMUL HASSAN, K. M.; BISWAS, S. K.; ANWAR, M. S.; IMAN SIAM, M. S.; SHAHNAZ, C. A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition. **2019 IEEE International Conference on Signal Processing, Information, Communication & Systems (SPICSCON)**, , p. 78–81, 2020. <https://doi.org/10.1109/spicscon48833.2019.9065110>.

NAIMUL HASSAN, K. M.; BISWAS, S. K.; ANWAR, M. S.; IMAN SIAM, M. S.; SHAHNAZ, C. A Dual-Purpose Refreshable Braille Display Based on Real Time Object Detection and Optical Character Recognition. Nov. 2019. **2019 IEEE International Conference on Signal Processing, Information, Communication Systems (SPICSCON)** [...]. [S. l.: s. n.], Nov. 2019. p. 78–81. <https://doi.org/10.1109/SPICSCON48833.2019.9065110>.

NATIONAL FEDERATION OF THE BLIND. How many children in America are not taught to read? 2015. Available at: <https://nfb.org/braille-initiative>. Accessed on: 16 Apr. 2018.

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.,

1993.

OLIVEIRA, T. Amostragem não probabilística: adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e quotas. **Revista de Administração On Line**, 2001. .

PAUTA, J. A. A. A. A.; VÉLEZ, E. P.; SERPA-ANDRADE, L.; VELEZ, E. P.; SERPA-ANDRADE, L. Braille teaching electronic prototype. Nov. 2016. **2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)** [...]. [S. l.]: IEEE, Nov. 2016. p. 1–7. DOI 10.1109/ROPEC.2016.7830573. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7830573/>.

PAUTA, J. A. A.; VELEZ, E. P.; SERPA-ANDRADE, L. Braille teaching electronic prototype. Nov. 2016. **2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)** [...]. [S. l.]: IEEE, Nov. 2016. p. 1–7. DOI 10.1109/ROPEC.2016.7830573. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7830573/>.

PEÑALOZA-MENDOZA, G. R.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A. A.; MELGOZA-RIVERA, P. Y.; ESPINOSA-HURTADO, S. Design of an electronic prototype to teach braille. **Health and Technology**, vol. 10, no. 2, p. 411–416, 27 Mar. 2020. DOI 10.1007/s12553-019-00373-w. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s12553-019-00373-w>.

PUTNAM, B. C.; TIGER, J. H.; FICHTNER, C. Teaching braille letters, numerals, punctuation, and contractions to sighted individuals. **Journal of Applied Behavior Analysis**, vol. 2, no. 2, p. 466–471, 2015. <https://doi.org/10.1002/jaba.202>.

RAMLREZ, M.; SOTAQUIRA, M.; DE LA CRUZ, A.; MARIA, E.; AVELLANEDA, G.; OCHOA, A. An automatic speech recognition system for helping visually impaired children to learn Braille. Aug. 2016. **2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA)** [...]. [S. l.]: IEEE, Aug. 2016. p. 1–4. DOI 10.1109/STSIVA.2016.7743335. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7743335/>.

REIS, S. V. dos. **Painel Braille Interativo**. 2013. Unicamp, 2013. Available at: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP\\_0662d1c66acb33f770ab1344ef02e676](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_0662d1c66acb33f770ab1344ef02e676).

ROCKY Balboa. Direção: Sylvester Stallone. Produção de Charles Winkler, Billy Chartoff, David Winkler e Kevin King. Local:Estados Unidos: Metro-Goldwyn-Mayer Columbia Pictures, 2006. DVD.

RODRIGUES, A.; MONTAGUE, K.; NICOLAU, H.; GUERREIRO, T. Getting Smartphones to Talkback : Understanding the Smartphone Adoption Process of Blind Users. 2015. **Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility** [...]. Lisbon: [s. n.], 2015. p. 23–32. DOI 10.1145/2700648.2809842. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2809842&CFID=927986407&CFTOKEN=20799100>.

ROSSON, M. B.; CARROLL, J. M. Scenario-Based Usability Engineering. 2002. **Proceedings of the 4th Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques** [...]. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2002. p. 413. DOI 10.1145/778712.778776. Available at: <https://doi.org/10.1145/778712.778776>.

RUSSOMANNO, A.; O'MODHRAN, S.; GILLESPIE, R. B.; RODGER, M. W. M. Refreshing Refreshable Braille Displays. **IEEE Transactions on Haptics**, vol. 8, no. 3, p. 287–297, 1 Jul. 2015. DOI 10.1109/TOH.2015.2423492. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7086320/>.

SANDES, L. F. A Leitura do Deficiente Visual e o Sistema Braille. **Trabalho de Conclusão de Curso**, vol. 53, p. 1689–1699, 2013. .

SAURO, J. MEASURING USABILITY WITH THE SYSTEM USABILITY SCALE (SUS). 2011. Available at: <https://measuringu.com/sus/>. Accessed on: 17 Apr. 2020.

SCHEITHAUER, M. C.; TIGER, J. H. A COMPUTER-BASED PROGRAM TO TEACH BRAILLE READING TO SIGHTED INDIVIDUALS. **Journal of Applied Behavior Analysis**, vol. 45, no. 2, p. 315–327, Jun. 2012. DOI 10.1901/jaba.2012.45-315. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1901/jaba.2012.45-315>.

SCHEITHAUER, M. C.; TIGER, J. H.; MILLER, S. J. On the efficacy of a computer-based program to teach visual braille reading. **Journal of Applied Behavior Analysis**, vol. 2, no. 2, p. 436–443, 2013. <https://doi.org/10.1002/jaba.48>.

SCHUCHMANN, A. Z.; SCHNORRENBERGER, B. L.; CHIQUETTI, M. E.; GAIKI, R. S.; RAIMANN, B. W.; MAEYAMA, M. A. Isolamento social vertical X Isolamento social horizontal: os dilemas sanitários e sociais no enfrentamento da pandemia de COVID-19. **Brazilian Journal of Health Review**, vol. 3, no. 2, p. 3556–3576, 2020. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n2-185>.

SEIM, C.; CHANDLER, J.; DESPORTES, K.; DHINGRA, S.; PARK, M.; STARNER, T. Passive haptic learning of Braille typing. 2014. **Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers - ISWC '14** [...]. New York, New York, USA: ACM Press, 2014. p. 111–118. DOI 10.1145/2634317.2634330. Available at: <http://doi.acm.org/10.1145/2634317.2634330>.

SHOPPING DO BRAILLE. No Title. 2020. Available at: <https://shoppingdobraille.com.br/>.

SILVA, V. G.; GOMES, M. J.; SOUZA, R. M. Desenho Universal para Aprendizagem, Acessibilidade Web, Usabilidade no e-Learning e Usabilidade Pedagógica. **Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación**, no. 13, p. 284, 2017. <https://doi.org/10.17979/reipe.2017.0.13.2957>.

SRIVASTAVA, A.; DAWLE, S. Mudra: A Multimodal Interface for Braille Teaching. **Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference, AH '15**. New York, New York, USA, , p. 169–170, 2015. DOI 10.1145/2735711.2735821. Available at: <http://doi.acm.org/10.1145/2735711.2735821>.

SUTARIYA, R. D.; SINGH, H. S.; BABARIYA, S. R.; KADIYAR, S. A.; MODI, D. H. Refreshable Braille Display for the Visually Impaired. **2017 14th IEEE India Council International Conference, INDICON 2017**, , p. 4–8, 2018. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2017.8487232>.

TENÓRIO, J. M.; COHRS, F. M.; SDEPANIAN, V. L.; PISA, I. T.; MARIN, H. D. F. Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, vol. 17, no. 2, p. 210, 2011. <https://doi.org/10.22456/2175-2745.12119>.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. [S. l.]: CORTEZ, 2008.

TOUSSAINT, K. A.; SCHEITHAUER, M. C.; TIGER, J. H.; SAUNDERS, K. J. Teaching identity matching of braille characters to beginning braille readers. **Journal of Applied Behavior Analysis**, vol. 50, no. 2, p. 278–289, 2017. <https://doi.org/10.1002/jaba.382>.

TOUSSAINT, K. A.; TIGER, J. H. Teaching Early Braille Literacy Skills Within a Stimulus Equivalence Paradigm To Children With Degenerative Visual Impairments. **Journal of Applied Behavior Analysis**, vol. 43, no. 2, p. 181–194, 2010. DOI 10.1901/jaba.2010.43-181. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2884344/>.

VACA, D.; JÁCOME, C.; SAETEROS, M.; CAIZA, G. Braille Grade 1 Learning and Monitoring System. Nov. 2018. **2018 IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA)** [...]. [S. l.: s. n.], Nov. 2018. p. 1–5. <https://doi.org/10.1109/CCRA.2018.8588144>.

VENTORINI, S. H. **A experiência como fator determinante na representação espacial da pessoa com deficiência visual**. [S. l.]: Editora UNESP, 2009. DOI 10.7476/9788539304363. Available at: <http://books.scielo.org/id/f3hjm>.

VREDENBERG, K.; ISENSEE, S.; RIGHI, C. **User-Centered Design: An Integrated Approach with Cdrm**. USA: Prentice Hall PTR, 2001.

WAGH, P.; PRAJAPATI, U.; SHINDE, M.; SALUNKE, P.; CHASKAR, V.; TELAVANE, S.; YADAV, V. E-Braille-a self-learning Braille device. Mar. 2016. **2016 Twenty Second National Conference on Communication (NCC)** [...]. [S. l.]: IEEE, Mar. 2016. p. 1–6. DOI 10.1109/NCC.2016.7561162. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7561162/>.

WAINER, J. Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a Ciência da Computação. **Atualização em Informática. Org: Tomasz Kowaltowski**. [S. l.]: Editora PUC-Rio, 2007. p. 221–262. Available at: <http://www.pucrs.br/famat/viali/educem/material/textos/Pesquisa.pdf>.

WHO. Visual impairment and blindness. 2019. **Fact Sheet**. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html>. Accessed on: 10 Jun. 2020.

WHO. WHO global disability action plan 2014-2021. 2015. Available at: <https://www.who.int/disabilities/actionplan/en/>.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SYSTEM USABILTY SCALE

### Avaliação de Usabilidade da Solução

\*Obrigatório

1. Nome \*

---

2. Data de Nascimento \*

*Exemplo: 7 de janeiro de 2019*

Avaliação  
de  
Usabilidade  
da Solução

O questionário consiste de 10 perguntas, e para cada uma delas o você pode responder em uma escala de 1 a 5, onde 1 significa Discordo Completamente e 5 significa Concordo Completamente.

3. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência. \*

*Marcar apenas uma oval.*

1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente

4. Considerei o produto mais complexo do que necessário. \*

*Marcar apenas uma oval.*

1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente



9. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este produto. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente				

10. Considerei o produto muito complicado de utilizar. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente				

11. Senti-me muito confiante a utilizar este produto. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente				

12. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Discordo Totalmente	<input type="radio"/>	Concordo Totalmente				

---

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

## APÊNDICE B – PARECER DO CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UFPE



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Avaliação de Um Novo Método de Ensino de Identificação de Caracteres Braille

**Pesquisador:** VICTOR HAZIN DA ROCHA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 06581618.3.0000.5208

**Instituição Proponente:** CENTRO DE INFORMÁTICA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.197.944

#### Apresentação do Projeto:

Trata-se de uma tese de doutorado a ser defendida por Victor Hazin da Rocha, sob orientação do professor Fernando da Fonseca de Souza no programa de pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

#### Objetivo da Pesquisa:

O objetivo geral descrito na pesquisa é o seguinte:

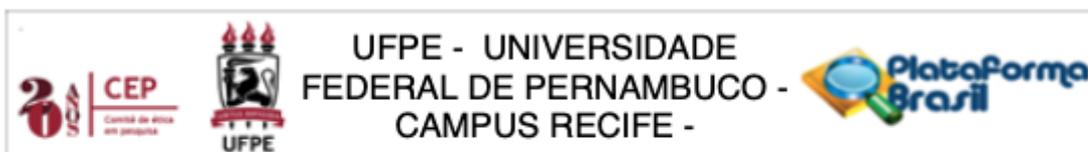
O trabalho propõe um novo método para ensinar e treinar pessoas por meio de um dispositivo móvel controlado por gestos e comandos de voz para reconhecer os caracteres Braille e mapear corretamente para as letras do alfabeto. Para isso, é feito uso de ferramentas como um display Braille dinâmico desenvolvido especialmente para esses fins e de uma aplicação para dispositivos móveis.

Desta maneira o objetivo principal do experimento é de caráter explicativo, pois busca avaliar junto ao público alvo a solução proposta na tese do autor. Por fim, a pesquisa também tem característica exploratória, pois pretende identificar e descobrir as potencialidades e possíveis limitações de uso diante deste novo ambiente pelas pessoas pesquisadas, não percebidas a priori pelos pesquisadores.

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

- Avaliar com o método System Usability Scale (BROOKE, 1995) a usabilidade (segundo definição de Jokela (2003)) da solução.

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 3.197.944

- Avaliar com o método NASA-TLX (HART; STAVELAND, 1988) a carga mental de trabalho dos usuários durante os testes utilizando a solução proposta.
- Mensurar se houve melhora da capacidade do público alvo de reconhecimento dos caracteres Braille e o mapeamento desses caracteres para o seu equivalente no alfabeto romano.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Os riscos e benefícios foram corretamente avaliados:

##### **Riscos**

Durante a realização da atividade de avaliação pode ocorrer uma situação de desconforto, cansaço ou constrangimento do participante, ele tem toda a liberdade de interromper a sua participação na pesquisa. Para minimizar esses riscos a avaliação e a entrevista será realizada em uma sala e de forma individual, e o voluntário pode interromper sua participação a qualquer momento.

##### **Benefícios**

É esperado que com a realização desta atividade experimental o participante obtenha um ganho direto, na identificação de caracteres Braille. Com a validação desse ambiente experimental pelos participantes, a solução proposta tem a condição de ser replicada e utilizada por mais pessoas, tornando-se assim disponível para a sociedade um novo recurso de Tecnologia Assistiva.

#### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Sobre o local da pesquisa:

Serão utilizados dois (2) locais de referência: um local onde será realizado o levantamento de dados e informações e um segundo local onde esses dados e informações serão analisados e consolidados. O levantamento de dados e as entrevistas com os participantes serão realizados nas instalações da CESAR School, localizada na Avenida Cais do Apolo, 77, no Bairro do Recife em Recife, Pernambuco.

Já a fase de análise e avaliação dos dados e informações levantadas será executada a posteriori no ambiente do Centro de Informática (CIn), localizado na Av. Jornalista Aníbal Fernandes, s/n - Cidade Universitária (Campus Recife) - 50.740-560 - Recife – PE, pela equipe de pesquisadores do projeto, sob a coordenação do pesquisador responsável e contando com apoio do professor orientador da tese, e também de outros professores do Centro de Informática, se assim for necessário.

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 3.197.944

#### Critérios de Inclusão e Exclusão

Serão incluídos os primeiros 5 professores do curso de graduação em Ciência da Computação que se apresentem regularmente vinculados ao CESAR School e que se dispuserem a participar da pesquisa respondendo o e-mail de convite.

Serão excluídos da pesquisa os professores que já souberem ler em Braille ou que já tenham participado de algum curso para alfabetização em Braille, pois dessa forma distorceria o resultado final da pesquisa, uma vez que eles já saberiam identificar os dígitos em Braille. Também serão excluídos os voluntários que não respondam o e-mail dentro do tempo hábil ou que respondam, porém possuam o mesmo perfil de outro respondente.

#### Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos foram anexados à Plataforma Brasil.

#### Recomendações:

- 1) No terceiro item dos objetivos específicos usar o verbo "haver" na frase. Ou seja, substituir "• Mensurar se ouve melhora ..." por "• Mensurar se houve melhora..."
- 2) De uma forma geral recomendamos revisar o texto, por exemplo:
  - na página 19, há uso muito próximo de duas palavras iguais: " Na sequência, será explicitada a sequência .."
  - no anexo 1: corrigir as palavras: "atinigir", "opnião" e "significative"

#### Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

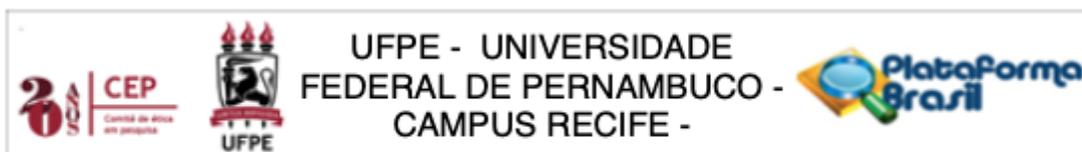
Sem pendências.

#### Considerações Finais a critério do CEP:

O Protocolo foi avaliado na reunião do CEP e está APROVADO para iniciar a coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio da Notificação com o Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 3.197.944

participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

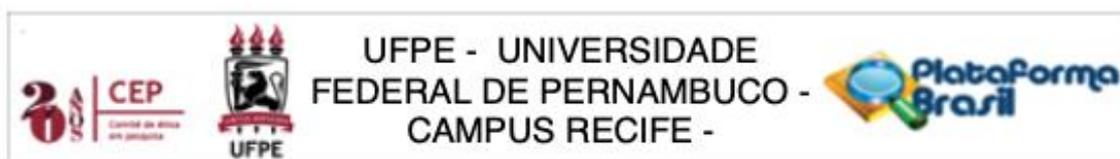
Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética, relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1130732.pdf	30/01/2019 10:29:03		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_detalhado.docx	30/01/2019 10:28:05	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Maiores18.pdf	30/01/2019 10:01:04	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Outros	termo_de_confidencialidade_assinado.pdf	28/01/2019 19:53:39	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Outros	COMPROVANTE_SIGA_UFPE.pdf	23/01/2019 21:17:26	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Outros	Lattes_Victor_Hazin_da_Rocha.pdf	23/01/2019 20:38:12	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Outros	Lattes_Fernando.pdf	23/01/2019 20:37:42	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Assinada.pdf	29/10/2018 15:22:05	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito
Outros	Carta_de_Anuencia_Victor_Hazin_da_Rocha.pdf	13/08/2018 15:33:36	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Aceito

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cepocs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 3.197.944

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

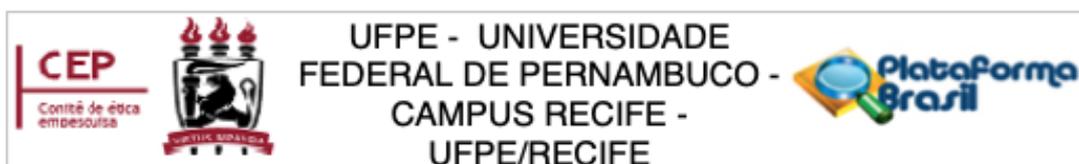
RECIFE, 14 de Março de 2019

---

**Assinado por:**

**LUCIANO TAVARES MONTENEGRO**  
(Coordenador(a))

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Avaliação de Um Novo Método de Ensino de Identificação de Caracteres Braille

**Pesquisador:** VICTOR HAZIN DA ROCHA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 06581618.3.0000.5208

**Instituição Proponente:** CENTRO DE INFORMÁTICA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DA NOTIFICAÇÃO

**Tipo de Notificação:** Envio de Relatório Final

**Detalhe:**

**Justificativa:**

**Data do Envio:** 30/10/2020

**Situação da Notificação:** Parecer Consubstanciado Emitido

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 4.389.485

#### **Apresentação da Notificação:**

Trata-se de relatório final de pesquisa de doutorado de Victor Hazin da Rocha, sob orientação do professor Fernando da Fonseca de Souza do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco. O estudo teve como objetivo geral propor um novo método para ensinar e treinar pessoas por meio de um dispositivo móvel controlado por gestos e comandos de voz para reconhecer os caracteres Braille e mapear corretamente para as letras do alfabeto.

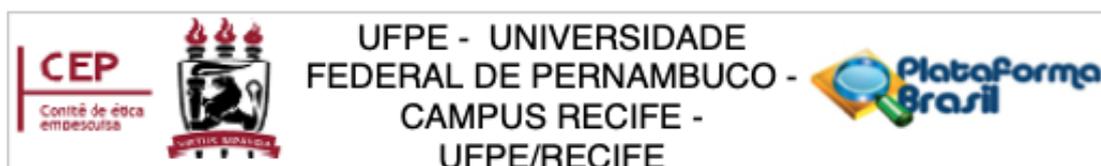
#### **Objetivo da Notificação:**

Apresentar relatório final do estudo "Avaliação de Um Novo Método de Ensino de Identificação de Caracteres Braille".

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Os riscos e benefícios foram apresentados no projeto inicial e estão em consonância com o que foi

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br



Continuação do Parecer: 4.389.485

desenvolvido no estudo.

**Comentários e Considerações sobre a Notificação:**

O relatório segue o que foi determinado no projeto e discute os pontos principais e resultados do estudo em questão.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O relatório apresentado segue o modelo do CEP/UFPE, apresentando dados gerais dos voluntários, metodologia desenvolvida e conclusões do estudo.

**Recomendações:**

Sem recomendações.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Notificação aprovada.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

O Relatório Final foi analisado e APROVADO pelo colegiado do CEP.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Envio de Relatório Final	comite_etica_relatorio_final.pdf	30/10/2020 16:02:04	VICTOR HAZIN DA ROCHA	Postado

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

RECIFE, 10 de Novembro de 2020

Assinado por:  
Gisele Cristina Sena da Silva  
(Coordenador(a))

**Endereço:** Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do Centro de Ciências da Saúde  
**Bairro:** Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600  
**UF:** PE **Município:** RECIFE  
**Telefone:** (81)2126-8588 **E-mail:** cephumanos.ufpe@ufpe.br